

T. C.
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI
DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı

G. Yayın No. : 906
Grup No. : X
Özel No. : 93

HİDROJEOLOJİDE SU KİMYASI

Lütfi DOĞAN
Kimya Yüksek Mühendisi



DSİ BASIM ve FOTO - FİLM
İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ MATBAASI
ANKARA - 1981

T. C.
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI
DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı

G. Yayın No. : 906
Grup No. : X
Özel No. : 93

HİDROJEOLOJİDE SU KİMYASI

Lütfi DOĞAN
Kimya Yüksek Mühendisi



DSİ BASIM ve FOTO - FİLM
İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ MATBAASI
ANKARA - 1981

Dijital yayın için açıklama

Bu kitap 1980-1981 yıllarında, kaynakların ve kaynaklara erişim imkanlarının kısıtlı olduğu bir dönemde yazıldı. Bugün yazsaydım elbette çok daha farklı olurdu. Ancak kitaptaki bilgiler günümüz için de doğru ve geçerlidir.

Bilgilerin yanlış olması değil, yetersiz olması söz konusu olabilir. Kitabın konusu, çok kapsamlı olan “su kimyası” değil, daha sınırlı bir konu olan “hidrojeolojide su kimyasıdır. Bu nedenle sınırlı bir kitleye hitabetmektedir. Ancak bir kişiye bile olsa faydalı olur ümidiyle dijital formatta yayınlamaya karar verdim. Aralık 2023

dogan.lutfi@hotmail.com

KONU VE AMAÇ**1. SUYUN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ**

1.1. Suyun Kimyasal Yapısı	3
1.2. Çözünürlük ve Bir Çözücü Olarak Su	6
1.3. Yağış Suyu ve Özellikleri	9
1.4. Suyun Özellikleri	12
1.5. Suyun Fiziksel Özellikleri	
1.5.1. Sıcaklık	13
1.5.2. Renk	15
1.5.3. Bulanıklık	15
1.5.4. Koku ve Tad	16
1.6. Suyun Kimyasal Özellikleri	
1.6.1. Hidrojen İyonu Konsantrasyonu, pH	17
1.6.2. Özületkenlik, EC	19
1.6.3. Asidite	23
1.6.4. Alkalilik	23
1.6.5. Sertlik	25
1.6.6. Kalsiyum	27
1.6.7. Magnezyum	30
1.6.8. Sodyum	32
1.6.9. Potasyum	36
1.6.10 Demir	37
1.6.11 Mangan	40
1.6.12 Alüminyum	42
1.6.13 Bor	43
1.6.14 Silisyum	45
1.6.15 Karbonat ve bikarbonat	46
1.6.16 Sülfat	47
1.6.17 Klorür	50
1.6.18 Florür	52
1.6.19 Amonyak, Nitrit ve Nitrat	53
1.6.20 Kükürt ve Hidrojen Sülfür	55

1.6.21 Organik Kirlilik	56
1.6.22 Karbon Dioksit	58
1.6.23 Çözünmüş Oksijen	61
1.6.24 Nadir Elementler (Arserik, selenyum, bakır, çinko, kurşun, krom)	63
1.7. Suyun Bakteriyolojik Özellikleri	66
1.8. Suyun Radyoaktif Özellikleri	
2. SU ANALİZ SONUÇLARININ İFADESİ	
2.1. Genel Konsantrasyon Birimleri	72
2.1.1. Litrede gram veya litrede miligram, mg/l.	72
2.1.2. Normalite	73
2.1.3. Molarite	74
2.1.4. Molalite	74
2.1.5. Milyonda bir kısım, ppm.	75
2.1.6. Hidrojen İyonu konsantrasyonu, pH	75
2.1.7. Özdirenç ve Öziletkenlik Birimleri	76
2.1.8. Sertlik Birimleri	77
2.1.9. Radyoaktivite Birimleri	77
2.2. Çevirme Faktörleri	
2.2.1. Normalite ile mg/l. arasındaki ilişki	78
2.2.2. Ağırlık Esasından Hacim Esasına Geçişler	78
2.2.3. Sertlik Birimleri Arasındaki İlişkiler	79
2.2.5. Öziletkenlik ile Konsantrasyon Arasındaki İlişki	80
3. İÇME VE KULLANMA SUYU KRİTERLERİ	83
4. SULAMA SUYU KRİTERLERİ	
4.1. Giriş	87
4.2. Kavramlar ve Tarifler	87
4.2.1. Tuzluluk	87
4.2.2. Sodiklik	89
4.2.3. Sodyum yüzdesi % Na	89
4.2.4. Sodyum Adsorpsiyon Oranı, SAR	92
4.2.5. Artıksal Sodyum Karbonat	92
4.2.6. Langelier Saturasyon İndeksi	94
4.2.7. Efektif Tuzluluk	96
4.2.8. Tuz İndeksi	97

4.3. Sulama Suyu Sınıflandırma Sistemleri	
4.3.1. Scofield Sistemi	98
4.3.2. Wilcox ve Magistad Sistemi	99
4.3.3. Wilcox Grafigi Sistemi	99
4.3.4. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Sistemi	101
4.3.5. Efektif Tuzluluk Sistemi	103
4.3.6. Artıksal Sodyum Karbonat(RSC) Sistemi	103
4.3.7. Langelier Saturasyon İndeksi Sistemi	104
4.3.8. Tuz İndeksi Sistemi	104
4.3.9. Bor Kriterleri	104
4.3.10 Eser Elementler İçin Kriterler	106
5. ENDÜSTRİ SUYU KRİTERLERİ	
5.1. Kazan Besleme Suyu	107
5.2. Soğutma Suyu	109
5.3. Tekstil Sanayii	110
5.4. Suni İpek ve Asetat İpliği	111
5.5. Dericilik	112
5.6. Kağıt Sanayii	113
5.7. Gıda ve Konserve Sanayii	115
5.8. Şeker Sanayii	116
5.9. Süt Endüstrisi	116
5.10 Meşrubatlar	117
5.11 İnşaatlarda Beton Karıştırma Suyu	118
6. SU KALİTESİNİN LİTOLOJİ İLE İLİŞKİSİ	
6.1. Yerkabuğunun Bileşimi	121
6.2. Yeraltısuyu ile Litolojisinin ilişkisi	124
6.2.1. Granit ve Gnays Suları	125
6.2.2. Bazalt Suları	126
6.2.3. Kireçtaşı ve Dolomit Suları	127
6.2.4. Jipsli Zemin Suları	127
6.2.5. Marn ve Kil Suları	128
6.2.6. Kum ve Kumtaşı Suları	129
6.2.7. Alüvyon Suları	129

6.3. Suyun Kimyasal Bileşimini Değiştiren Olaylar	
6.3.1. Karbondioksit konsantrasyonuna bağlı değişimler	130
6.3.2. Baz Değişimi	131
6.3.3. Sülfat indirgenmesi	131
6.3.4. Yükseltgenme Reaksiyonları	132
6.3.5. Tuz Yoğunluğunun Değişmesi	132
7. KAPLICA VE MADEN SULARI	
7.1. Kaplıca ve Maden Sularının Kimyasal Bileşimi	136
7.2. Kaplıca ve Maden Sularının Radyoaktivitesi	137
7.3. Kaplıca ve Maden Sularının Orijini	139
7.4. Kaplıca ve Maden Sularına Ait Örnek Analizler	139
8. YERALTISUYUNUN KİRLLENMESİ	
8.1. Azot Kirlenmesi	143
8.2. Ağır Metal Kirliliği	145
8.3. Deterjan Kirliliği	145
8.4. Pestisidlerle Kirlenme	146
8.5. Petrol ve Doğal Gaz Kirlenmesi	146
9. SU ANALİZ SONUÇLARININ YORUMU	
9.1. Kolon Grafikler	147
9.2. Üçgen Diyagramlar	149
9.3. İkimsal Diyagramlar	151
9.5. Su Kimyası Haritaları	156
9.6. Hidrojeolojik Etütlerde Su Kimyası Raporunun Hazırlanması	157
10. EKLER	
10 1. Elementlerin Atom ve Molekül Ağırlıkları Tablosu	160
2. Kaplıca Tuzların Çözünürlüğü	161
3. Su Numunesi Alma Yöntemleri	165
4. Deniz Suyunun Bileşimi ve Türkiye Deniz Sularının Kimyasal Analiz Sonuçları	171
5. Sularda Sertliğin Giderilmesi	173
6. Sularda Tad ve Koku yapan canlılar ile Bunları Giderme Metotları	175
KAYNAK YAYINLAR	177

Ö N S Ö Z

Yeraltısuyunu kuyu açmak suretile bulan ilk insanın yaptığı ilk araştırma muhtemelen suyu tadmak suretile bir çeşit kalite kontrolü veya su kimyası çalışması olmuştur.

Son yarım yüzyıl içinde yeraltısuyu araştırma ve geliştirmelerindeki ilerlemeler, yeraltısuyu kullanımının yaygınlaşması, buna bağımlı olarak su kalitesindeki bazı sınırlandırmalar ve kirlenme olayları, hidrojeoloji incelemelerinde su kimyasının çok önemli bir yer almasına ve hatta artık ayrı bir bilim kolu haline dönüşmesine neden olmaktadır.

Devlet Su İşlerinde uzun bir süreden beri bu konuda çalışmalar yapan Kim.Y.Müh. Lütfi Doğan tarafından büyük bir itina ve emekle hazırlanmış olan bu kitap, gerek uygulamacılara ve gerek yüksek öğrenimini sürdüren meslektaşlara, bilimsel niteliği kadar araştırma ve değerlendirme yöntemleri ile de yarar sağlayacağından eminim.

B. Erol ÖNHON
Jeo.Y.Müh.

DSİ.Jeotek.Hiz. ve YAS.Da.
Bşk. Proje Uzmanı

KONU VE AMAÇ

"Canlı olan her şey sudan yaratılmıştır."

Bilinen en canlı ortam sudur.

Canlı kalmak, su dengesini sürdürebilmektir. Hayatın devamı için suyun yerini doldurabilecek hiç bir madde yoktur.

Bu önemine karşılık insanların kullanabileceği tatlı su kaynakları sonsuz değildir. Dünyamızdaki toplam suyun ancak % 0,5 i insanların kullanmasına elverişlidir. Bu yüzden, ilk devirlerden günümüze kadar insanlar, öncelikle su imkanı uygun bölgelerde yerleşmişlerdir. Tarihte büyük medeniyetler büyük su kaynaklarının çevresinde kurulmuş ve gelişmiştir.

Tatlı su kaynaklarının sınırlı, hidrojeolojik çevrim içinde kullanılabilir su miktarının sabit kalmasına karşılık, su talebi gün geçtikçe artmaktadır.

Kullanılabilir su kaynakları, hidrojeolojik çevrim içinde sabit kalsa bile, bilgisizce kullanımlar yüzünden, "suyun belirli bir amaç için kullanılabilirliğinin azalması veya yok olması" şeklinde tariflediğimiz su kirliliği meydana gelmekte ve böylece temiz su kaynakları azalmaktadır.

Günlük hayatımızda su başlıca, içme-kullanma, tarım, sanayi ve enerji üretimi amaçları ile kullanılmaktadır. Bu kullanımlar sonunda su nitelik ve nicelik yönünden değişmektedir.

Ülkemizde, genellikle daha temiz oluğu ve işletme kolaylığı yüzünden enerji üretimi dışındaki su taleplerinin yeraltısuyundan karşılanması tercih edilmektedir. Ancak gün geçtikçe artan su talebi sonucu, mevcut yeraltısuyu potansiyeli harcanmaktadır. Ayrıca çevre kirliliğine bağlı problemler ortaya çıkmaktadır.

Yeraltısuyu bir hidrojeolojik etüt sonucunda ortaya çıkarılır. İstenilen suyun sağlanması, ancak suyun kullanma amacına uygunluğu oranında kıymetlidir. Bu yüzden hidrojeolojik etütlerde su kimyası çalışmaları önemli bir yer tutar.

Bu yayının amacı, genel olarak su kimyası, özel olarak da hidrojeolojik etütlerde su kimyası çalışma ve yöntemlerinin açıklanmasıdır.

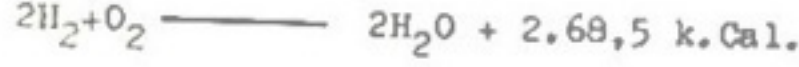
Kalite açısından suyun kullanma amacına uygunluğunun araştırılması, su kalitesi ile litoloji arasında iliğki kurulması, kalite problemi varsa sebeplerinin tesbiti, yeraltısuyu hareketinin ve beslenin yönlerinin bulunması, su analiz sonuçlarının yorumlanması gibi konular bu çalışmanın kapsamına girmektedir.

Yeraltısuyunun kalitesi büyük ölçüde içinden geçtiği kayala ilgilidir. Böyle bir iliğkiyi kurabilmek, kimya ile birlikte jeoloji ve hidrojeoloji disiplinlerinden faydalanmayı gerektirir. Bu durum konunun kapsamını bir hayli genişletmektedir. Bu çalışmada, ayrıntılarından kaçınarak konuya bu açıdan yaklaşılması, litoloji-su kalitesi iliğkisi ayrı bir blmede incelendiği gibi, doğal suyun kimyasal bileğini anlatılırken bu hususa dikkat edilmiştir.

I. SUYUN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ

I.1. Suyun Kimyasal Yapısı

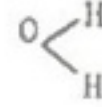
Su molekülü iki atom hidrojen ile bir atom oksijen arasındaki reaksiyon ürünüdür.



H_2O formülü suyun fiziksel halini belirlemez ; sadece molekül yapısını ortaya koyar. Sıvı, katı veya gaz (buhar) hallerinden birinde bulunan su aynı formül ile ifade edilir.

Aslında bu formül, oksijen ve hidrojenin üçer izotopu bulunması sonucu 18 ayrı şekilde yazılması mümkün olan su moleküllerinin tamamını temsil etmektedir.

Su molekülü, hidrojen ve oksijen arasında iki kovalent bağ kurularak oluşmuştur. Kovalent bağları meydana getiren atomlar birleşirken dış tabakalarını asal gaz sistemine benzetmeye çalışırlar. Buna göre su molekülü şöyle kurulur.



Su molekülü üçgen yapıda olup, iki hidrojen bağı arasındaki açı $104,5$ derece, oksijen-hidrojen arası $0,97 \text{ \AA}$, hidrojen-hidrojen arası ise $1,54 \text{ \AA}$ dur.

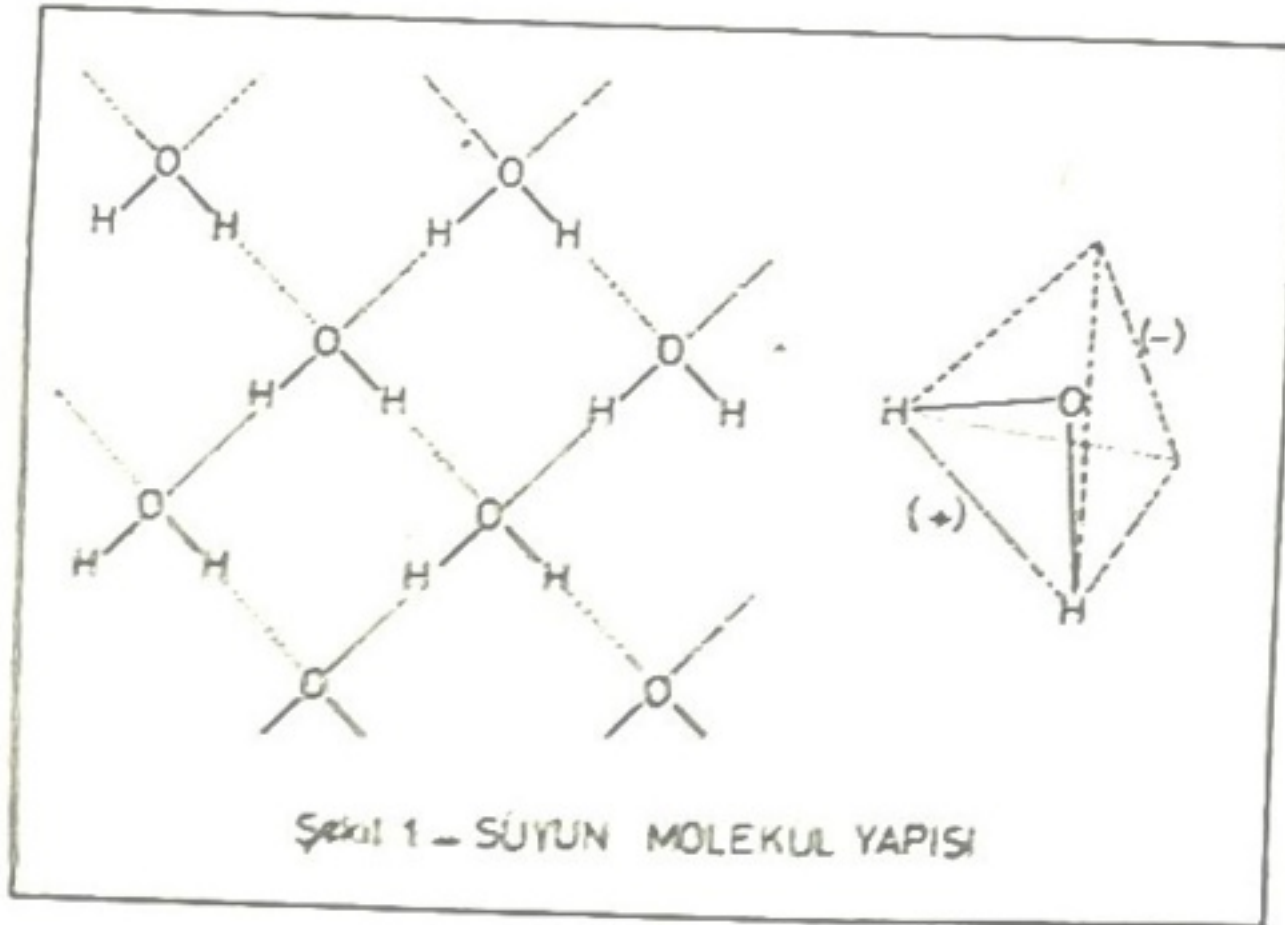
Kovalent bileşiklerin genel özellikleri şunlardır :

1. Erimiş halde elektrik akımını geçirmezler.
2. Erime ve kaynama noktaları düşüktür.
3. Dielektrik sabiti düşük çözücülerde kolayca çözünürler.
4. Kristallerinin yapı taşları moleküllerdir.

Kovalent bileşiklerde moleküller genel olarak elektrikçe nötraldir. Yani molekül elektrik bakımından simetriktir. Böyle moleküllere polar olmayan (apolar) moleküller denir. Böyle bir molekül elektrik alanında yönlenmez.

Bazı kovalent bileşikler ise elektrik bakımından simetrik değildir. Molekülün bir tarafında (+), diğer tarafında (-) elektrik yükü vardır. Böyle bir molekül elektrik alanına konulursa yönlenir.

Su molekülünde ortak iki elektron çifti, oksijen atomuna hidrojen atomlarından daha yakındır. Bunun sonucu olarak su molekülü polar bir moleküldür. Meydana gelen iki kovalent bağ bir tetraedrin tepelerine doğru yönelmiştir ve oksijen atomu tetraedrin merkezinde bulunur. Şekil : 1 deki tetraedrin açısı 109° dir.



Su molekülünde ortak iki elektron çifti hidrojen atomuna göre oksijen atomuna daha yakın olduğu için molekülün bu bölgesi negatif, hidrojenlerin bölgesi pozitif olur, (Dipol molekül). Bu dipolün pozitif ucu diğer dipolün negatif ucunu çekerek sonsuz sayıda su molekülleri birbirine bağlanırlar. Yani su molekülleri bitişik ikiz iyonlar gibidirler. Bu sistemde her oksijen atomu dört hidrojenle çevrilmiştir. Bağlardan ikisi kovalent bağ olup daha kısadır.

Hidrojen köprüsü 7 k.cal./mol.enerjiye sahip olduğundan normal basınç ve sıcaklık altında su molekülleri yoğunlaşmış halde bulunurlar. Bu bağı koparmak için fazlaca enerji gerektiği için suyun donma noktası kaynama noktası ve yüzey gerilimi bir hayli yüksektir.

Suyun yapısını, bu kitapçık çapında ayrıntı sayılabilecek tarzda açıklayışımız, mükemmel bir çözücü olan suyun, çözücülük özelliğini anlatabilmek içindir. Bundan sonraki bölümde bir çözücü olarak su incelenmiştir.

Tablo:1- Saf suyun genel özellikleri

Yoğunluğu ; 4°C de :	1 g/cm ³ (0°C de buzun yoğunluğu 0.92 g/cm ³)
Donma noktası :	0°C
Kaynama noktası :	100°C
Erime ısısı :	80 cal/g
Buharlaşma ısısı :	540 cal/g
Kritik sıcaklığı :	374°C
Kritik basıncı :	217 Atm.
Dielektrik sabiti :	80
Spesifik elektrik iletkenliği, 25°C de :	10 micromho/cm.
Yüzey Gerilimi ; 25°C de :	71.97 din/cm.
Viskozite, 20°C de :	10.09 millipoise

1.2. Çözünürlük ve Bir Çözücü Olarak Su

Bir bardakta duran veya bir kaynaktan çıkan berrak bir su , çoğu zaman sanıldığı gibi, iki molekül hidrojen ile bir molekül oksijenden oluşmuş saf bir madde değildir. Su deyip geçtiğimiz bu sıvının bir damlasında, değişik birçok maddenin milyonlarca atomu vardır.

Su atmosfer ve litosferde birçok olayın etkisi ile saflığını kaybeder. Bu yüzden saf suya göre daha farklı davranışlar gösterebilen bir sıvı haline geçer. Saflığını kaybetmesinde en etkili faktör, suyun çözücülük özelliğidir.

İki maddenin birbiri içinde çözünmesi için bu maddelerin en küçük tanecikleri (atomları veya molekülleri) arasındaki çekim kuvvetinin, birbirine yakın veya eşit değerlerde olması gerekir.

Şeker ve tuz suda çok çözüldükleri halde benzinde çözünmezler. Çünkü tuzu oluşturan iyon veya şekeri oluşturan moleküller arasındaki çekim kuvveti, bu iyon ve moleküllerin su molekülleri ile aralarındaki çekim kuvvetlerine denktir. Bunun sonucu iki faz arasında girişim olur ve karışma sağlanır. Benzin molekülleri arasında ise daha zayıf kohezyon kuvvetleri vardır. Benzin moleküllerinin zayıf kohezyon kuvveti, birbirini kuvvetli çeken tuz iyonlarını ayıramadığı için tuz benzin içinde çözünmez. Buna karşılık brom suda az çözünürken benzinde çok çözünür. Çünkü brom iyonları zayıf bağlarla birbirine bağlanmıştır.

Saf su elektrik akımını iletmez. Başka bir deyişle suda iyon yapısı yoktur. Öte yandan tuzun suda çözünebilmesi, su moleküllerinin, tuzun iyonları tarafından kuvvetle çekildiğini gösterir. Tuzda pozitif ve negatif iyonlar bulunduğuna göre, su molekülleri bu iki iyon tarafından da tutulabilmektedir. Yani su molekülleri sanki bitişik iki iyon gibi davranmaktadır. Böyle iki kutuplu moleküllere dipol veya polar moleküller denildiği ve bunun atomlar arasındaki bağlanmalar ile ilgili olduğu yukarıda açıklanmıştır.

Polarlığın sayısal ölçüsü dipol momentı veya dielektrik sabiti olarak verilir. Suyun dielektrik sabiti 80, benzininki ise ancak 2,3 dür.

İyon yapısı bir bakıma polarlığın en uç sınırıdır. Bu yüzden tuzlar ancak polar sıvılarda çözünür, apolar sıvılarda çözünmezler.

Su moleküllerinin polar olması, suyun tuzlar için çok iyi bir çözücü olmasını sağlamıştır.

Öte yandan, dipollerin zıt kutuplarının birbirini kuvvetli çekmesinden dolayı su molekülleri sanki birbirine yapışmış (iyon yapışındaymış) gibi hareket ederler. Bu olaya asosiasyon denir. Bu çekim sebebiyle su moleküllerini birbirinden ayırmak fazlaca enerji gerektirir. Suyun yüksek erime ve kaynama noktasına, yüksek yüzey gerilimine sahip olması bu şekilde izah edilir.

Tuzların suda çözünürlüğü sıcaklıkla doğru orantılıdır. Ancak bazı tuzların suda çözünürlüğü sıcaklıkla değişmez. Pek az tuzun çözünürlüğü ise sıcaklıkla ters orantılıdır. (Sodyum sülfat böyledir.) Çözünürlüğün sıcaklıkla azalması, bu tuzların çözünürken ısı vermesindenendir.

Basınç, sıvı ve katı maddelerin sudaki çözünürlüğünü pratik olarak etkilemez. Gazların çözünürlüğü ise basınçla artar. (Henry Kanunu)

Su tuzlar için iyi bir çözücü olmasına rağmen, tuzların suda çözünürlüğü sonsuz değildir. Tuzdan (katı fazdan) ayrılan iyonların konsantrasyonu, sıvı fazda belli bir değere ulaştıkça tekrar katı faza dönmeye (çökelmeye) başlar.

Katı (tuz) $\xrightleftharpoons{\hspace{1cm}}$ çözelti

İki yönlü yürüyen bu olayda bir fazdan ayrılan ve o faza geri dönen taneciklerin (iyon veya moleküllerin) sayıları arasındaki orana göre, doymamış, doymuş veya aşırı doymuş sistemlerden söz edilir.

Burada doygunluk denge halidir. Doymamış veya aşırı doymuş sistemler ise dengesizlik halleridir. Buna göre su, verilen bir tuz için doygunluk (denge) sınırına ulaşmamış ise, dengeye ulaşana kadar tuz çözecektir. Her tuzun suda çözünürlüğü hesapla veya deneyle bulunabilir. Tuzların sudaki çözünürlüklerinin farklı olması, tuzları oluşturan iyon ve moleküller ile su molekülleri arasındaki solvasyon enerjisinin farklı olmasından ileri gelir.

Genellikle bir maddeyi teşkil eden iyonların yarıçapları ne kadar küçük ve iyon yükü ne kadar büyükse, madde o kadar az çözünür. Ayrıca ortamda bulunan yabancı iyonlar, iyon şiddetini artırdığı için çözünürlüğü de artırır. Suda daha önce çözünmüş iyonlar ise, benzer iyonların çözünürlüğünü azaltır.

Ferikabugunda çok rastlanan ve suyun yüzeyden akışı veya yeraltına süzülüşü sırasında temas ettiği başlıca tuzların saf sudaki çözünürlükleri Ek- 2 de tablo halinde verilmiştir.

1.3. Yağış Suyu ve Özellikleri

Yağış halinde yeryüzüne düşen sular,

- Yüzeysel akışla deniz ve göllerde toplanır.
- Buharlaşma ve terleme ile tekrar atmosfere döner.
- Süzülme ile yeraltına sızarak yeraltısuyunu oluşturur.

Su yağış halinde yeryüzüne düştükten sonra, yüzeysel akışı veya yeraltına süzülüşü esnasında temas ettiği minerallerin bünyesinde bulunan birçok elemanı çözerek beraberinde taşır. Bu yüzden suyun kimyasal bileşimi sürekli olarak değişir.

Yağmur ve kar suları en temiz doğal sular olmakla birlikte , hiçbir zaman saf su değildirler. Bünyelerinde şartlara göre değişik miktarlarda gaz ve tuz bulunur. Yağmur suyu içinde çözünmüş olarak bulunan başlıca gazlar, azot, oksijen, karbon dioksit ve argondur. Bazı hallerde amonyak ve kükürt gazlarına da rastlanır.

Gazların yağmur suyunda erimesi gazın cinsine, sıcaklığa, basınca ve gazın atmosferdeki konsantrasyonuna bağlıdır. Azotun suda çözünürlüğü aynı şartlarda oksijenin yarısı kadardır. Atmosferdeki başlıca gazların 1 Atm. basınç altında ve 0°C de 1 l. suda ml. gaz hacmi olarak çözünürlükleri şöyledir:

Tablo:2_ Atmosferdeki gazların suda çözünürlükleri,ml.gaz/l.su

<u>Su sıcaklığı, °C</u>	<u>Azot</u>	<u>Oksijen</u>	<u>Karbon Dioksit</u>
0	20.35	41.14	1796.7
10	16.07	32.50	1184.7
20	14.03	28.38	901.4

Yağmur suyu gazlardan başka oldukça fazla sayıda çözünmüş element de ihtiva eder. Bu elementler miktar bakımından az olmakla birlikte, gene de umulanın üstündedir. En çok rastlanan iyonik elementler şunlardır : Kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum, klorür, iyodür, sulfat ve bikarbonat.

Örnek olarak, 1978 yılı başında alınmış bazı kar ve yağmur suyu analiz sonuçları aşağıda verilmiştir. (Analiz sonuçları mg/l.dir.)

Tablo:3_ Yağmur ve Kar suları kimyasal analiz sonuçları

	<u>Silifke</u> <u>(Yağmur)</u>	<u>Pülümür</u> <u>(Kar)</u>	<u>Arapkir</u> <u>(Kar)</u>	<u>Muş-Solhan</u> <u>(Kar)</u>	<u>Karlıova</u> <u>(Kar)</u>
pH	7.2	7.9	7.3	6.8	6.1
ECx10 ⁶	104	55	19	21	25
Na ⁺	7.8	1.1	0.7	1.0	0.9
K ⁺	3.5	0.8	0.4	0.4	0.8
Ca ⁺⁺	8.0	8.0	2.0	2.6	2.0
Mg ⁺⁺	1.2	1.2	6.1	0.1	1.2
HCO ₃ ⁻	21.3	21.3	8.5	9.1	9.1
Cl ⁻	7.4	1.4	1.4	2.4	1.4
SO ₄ ⁼	6.1	4.4	4.4	3.3	5.0

Bu maddelerin kökenleri değişiktir ; karasal veya denizel kökenli olabilirler. Denizlerin yakınında yağmur suyunun kimyasal bileşimi deniz suyu bileşimine paralellik gösterir.

Aşağıda denizden uzaklıkları farklı olan çeşitli merkezlere ait yağmur suyu analiz sonuçları verilmiştir. Görüldüğü gibi denizel kökenli elementlerin (Na^+ , Cl^- , Mg^{++} , K^+) miktarı denizden uzaklığa bağlı olarak değişmektedir.

Tablo : 4 - Yağmur suyu bileşiminin denizden uzaklıkla değişimi
(Denizden uzaklık : km.)

Eleman Adı	0.2	50	450	800	980	1250
Kalsiyum	1.43	1.18	2.74	1.80	1.56	1.91
Magnezyum	1.79	0.40	0.52	0.37	0.27	0.22
Potasyum	0.78	0.37	0.33	0.26	0.76	0.38
Sodyum	18.45	2.36	0.74	0.36	0.19	0.16
Amonyak	0.39	0.79	0.80	0.70	0.29	0.38
Klorür	37.60	4.52	2.00	0.86	0.65	0.28
Nitrat	1.64	1.59	2.12	1.73	0.80	1.28

Yağış halinde yeryüzüne düşen suyun minerallerle temas süresi arttıkça, bunlardan çözeceği miktar da artar. Yeraltısuyunda bulunan çözünmüş maddenin cinsi ve miktarı, suyun içinden geçtiği formasyonların cinsine, yapısına, kimyasal özelliklerine, suyun geçiş hızına ve temas süresine, ortamın sıcaklık ve basıncına bağlı olarak değişir. Sıcaklık genellikle çözünürlüğü artırır.

(Bazı tuzların çözünmesi eksotermiktir ve bu takdirde sıcaklık çözünürlüğü azaltır.)

Yağmur suyunun yeryüzüne düştükten sonra uğradığı değişiklikler ve litolojiye bağlı olarak kazandığı özellikler bölüm 6 da ayrıca incelenmiştir.

Yeraltısuyu genellikle kolloidal maddeler ve bakteriler ihtiva etmeyen, renksiz, berrak ve temiz bir sudur. Mevsimlere göre sıcaklığı çok az değişir. Ancak yerüstü sularına göre genellikle daha sert ve daha tuzludur. Ayrıca çoğu zaman korozyon karbondioksit ihtiva eder.

1.4. Suyun Özellikleri

Günlük hayatımızda kullandığımız sular, değişik cins ve miktarda yabancı madde (safsızlık) ihtiva ederler. Bir suyun kullanma amacına uygun olup olmadığı, başka bir deyişle suyun özelliği, içinde taşıdığı bu maddelerin cinsine ve miktarına bağlıdır.

Suda bulunan yabancı maddeler başlıca üç grupta toplanabilir.

1. İyonlaşmamış maddeler : Katı partiküller, kolloidal maddeler, renk maddeleri v.s. gibi iyonlaşmamış halde bulunan maddelerdir. Bu tür maddeler suyun fiziksel özelliklerini belirler. İyonlaşmış maddeler ile canlı organizmalar nispeten daha önemsizdirler. Suyun bunlardan arındırılması genellikle kolay ve ucuzdur. Bu maddelerin suya etkisi, suyun fiziksel özellikleri bölümünde anlatılmıştır.

2. İyonlaşmış maddeler : Suyun kalitesini daha çok bu maddelerin cinsi ve miktarı belirler. İyon aktiviteleri sonucunda bu maddeler suya değişik davranış imkânları verir. Canlı bünyesinde çeşitli kimyasal reaksiyonlar, kireçlendirme, korozyon gibi olaylar bu iyon aktivitesi ile ilgilidir. Bir suya, kullanma amacı için gereğinden fazla iyon bulunduğunda, suyun amaca uygun şekle dönüştürülebilmesi, ancak kimyasal metotlarla sağlanabilir. Bu metotlar ise genellikle zor ve pahalıdır. Suiyardaki iyonların kaynağı ve suya etkileri "Suyun Kimyasal Özellikleri" başlığı altında verilmiştir.

3. Mikroorganizmalar : Suiarda bulunan, gözle görülmeyen canlılardır. Bakteriler ve koliform grubu canlıları başlıcalarıdır. Bunlar insan ve hayvan sağlığı yönünden önemli olup suyun bakteriyolojik özelliğini belirler.

1.5. Suyun Fiziksel Özellikleri

Bu başlık altında, suyun dış görünüşü ve fiziksel halini belirleyen ve süzme, santrifüjleme, havalandırma gibi fiziksel olaylarla değiştirilebilen özellikleri anlatılacaktır.

1.5.1. Sıcaklık

Yağış halinde yeryüzüne düşen suyun sıcaklığı, geçtiği atmosfer içinde belirlenmiştir. Ancak su yatay veya düşey hareketi sırasında, bulunduğu ortam ile termik dengeye gelir ve sıcaklığı değişir.

Yerkabuğunun en dış tabakaları için başlıca ısı kaynağı güneştir. Güneş ışınlarının etkisi ile zemin, alttan sınırlanan belli bir nötr derinliğe kadar, farklı sıcaklık bölgeleri (heterotermi bölgesi) oluşturacak şekilde ısınır. Bu bölgenin sıcaklığı rakım, zemin türü, bitki örtüsü, enlem topografya ve yağış gibi değişkenlerin fonksiyonudur.

Heterotermi bölgesinin altında, yerkuvarlığının içinden gelen ısı akısının geçtiği bir başka bölge (homotermi bölgesi) bulunur. Normal zeminlerde 15-17 m. kalkerde 24-27 m. granitlerde ise 34-39 m. den sonra sıcaklık değişimleri hissedilmeye başlar. Sıcaklık değişmelerinin bağladığı bu geçiş bölgesine nötr bölge adı verilir. Bu bölgenin altında sıcaklık derinliğe bağlı olarak düzenli şekilde artar. Kaya cinsi, tabakaların eğimi, volkanların durumu, oksitleşme olayların varlığına göre her 20-40 (ortalama 33)m. derinlikte sıcaklık 1°C artar.

Nötr bölgenin sıcaklığı enlem, rakım, yağış, topografya, rüzgâr gibi faktörlere bağlıdır.

Buna göre, yeraltısuyunun hareket ettiği ve termik dengeye ulaşacağı ortamlardaki ısının kaynağı farklıdır. Bir yandan güneş ışınlarının etkisi ile yerkürenin dışından içine, diğer taraftan kürenin içinden dışına bir ısı akımı vardır. Ayrıca oksitleşmeler, hidratlaşmalar, kimyasal reaksiyonlar, sürtünme ve genleşmeler, radyoaktivite gibi olaylar da ikinci derecede ısı kaynaklarıdır.

Yeraltısuyu farklı ısı bölgelerinden geçmek zorundadır. Süzülen sular önce heterotermi bölgesinin üst kesimlerinden geçerek homotermi bölgesine ulaşırlar. Yeraltısuyunun çoğu genellikle bu bölgede bulunur.

Bir kaynak heterotermi bölgesinin sularını boşaltıyorsa kaynak suyunun sıcaklığında günlük veya mevsimlik değişiklikler gözlenir. Homotermi bölgesinin suyunu boşaltan kaynaklarda ise sıcaklık sabite yakındır.

Teorik olarak eğik bir zeminin altındaki yatay veya yükselici naplardan boşalan kaynakların sıcaklığı, o zeminin nötr bölgesinin sıcaklığına eşittir. Bu sıcaklık da, genellikle havanın yıllık sıcaklık ortalamasından biraz fazladır. Bu fazlalık, kaynağın yönü, bitki örtüsü, enlem, rakım, yağış düzeni, beslenme bölgesinin yeri, derinlik gibi faktörlere bağlıdır.

Kaynaklar sularının sıcaklığına göre değişik sınıflandırmalara tabi tutulmuştur. Genellikle benimsenen bir sınıflandırma şöyledir :

- 0-20°C : Soğuk sular
- 20-30°C : Ilık "
- 30 ve daha yukarısı : kaplıca suları .

Kaplıca suları ayrıca kendi aralarında sınıflandırılır.

Suyun sıcaklığı kimyasal bileşimi de etkiler. Sıcaklık arttıkça gazların suda çözünürlüğü azalırken, katıların çözünürlüğü genellikle artar. Sıcak kaynakların daha tuzlu oluşu bu yüzdendir. Ayrıca suda çözünen CO₂ miktarı sıcaklığa bağlı olarak değiştiğinden suyun pH ve bikarbonat değeri de değişir. Bu durum korozyon etütlerinde önemlidir.

Bir su kaynatılırsa (sıcaklığı yükseltirirse) CO₂ kaybından dolayı karbonat çöker ve böylece geçici sertliği giderilmiş olur.

Ilık suyun hoş olmıyan tadı, bu sıcaklıkta suda çözünen oksijen miktarının, serin suya göre daha az olmasındandır. Bu durum suda yaşayan canlılar için de önemlidir. Isınan su oksijen kaybeder ve canlıların yaşaması güçleşir.

İyi bir içme suyunun sıcaklığı 7-10°C olmalıdır.

1.5.2. Renk

Suyun rengi genellikle iki farklı kaynaktan gelir: Bunlardan biri, sudaki kolloidal askı maddeleri veya dinlendirme ile çökebilan maddelerdir. Bu tür maddelerin oluşturduğu renkliliğe zâhiri renk denir. Renkliliğin diğer kaynağı, bazı bitkisel ve hayvansal organik maddeler ile suda çözünmüş demir, mangan, krom bileşikleri gibi inorganik maddelerdir. Bu tür maddelerden ileri gelen renkliliğe ise hakiki renk denir. Hakiki renkliliği fiziksel bir işlemle gidermek mümkün değildir. Zâhiri renk santrifüjleme veya aktif kömürle giderilebilir.

Suyun renkliliği sağlığa zararlı olabileceği gibi zararsız da olabilir. İçme suyunda renk istenmoyışı daha çok estetik yöndedir. Çay, kahve ve meşrubatlarda olduğu gibi kaynağı bilinen renkler insanı rahatsız etmemektedir. Bunun dışında içme suları için kabul edilebilen limit değer 5 renk birimidir.

1.5.3. Bulanıklık

Suyun bulanıklığı, kolloidal maddeler veya çok ince dağılmış, çökmesi güç olan süspansiyon maddelerinin bir sonucudur. Kolloidal maddeler ile süspansiyon maddelerinin farkı tane büyüklükleridir. Suda çözünmeyen ve süzme işlemi ile ayrılabilen (filtre edilebilen) maddelere süspansiyon maddeleri denir. Tane büyüklükleri 0.1-2 mm. arasında olan organik veya inorganik maddelerdir.

Kolloidal maddeler daha küçük olup, normal filtre kâğıtları ile süzülemezler. Tane büyüklükleri, moleküller ile süspansiyon maddeleri arasında değişir.

Yüzey sularındaki fazla bulanıklık balıklar için zararlıdır. Ayrıca güneş ışığına engel olduğundan fotosentezi azaltır ve organizmaların ölmesine yol açar; bitki yetişmesini önler. Bunun sonucu sulardaki doğal temizlenmeyi engeller.

Bir litre saf suda bulunan 1 mg SiO₂'nin verdiği bulanıklık, bulanıklık birimi olarak kabul edilmiştir. Türk standartlarında müsaade edilebilen bulanıklık 5 birimdir. İçme sularında bilhassa demir ve mangan kökenli bulanıklık istenmez.

1.5.4. Koku ve Tad

Sulardaki koku ve tadın kaynağı bazı organik ve inorganik bileşikler ile mikroorganizmalardır. Bazı maddelerin eser miktarı bile suda hoş koku yapabilir ve suyu içilemez hale getirir.

Genellikle amonyak, sülfürler, siyanürler, serbest klor (dezenfektan olarak kullanılan klorun fazlası) ve fenol bileşikleri koku yapan maddelerdir. Bu maddeler daha çok organik maddelerin çürümesi ve bozulması, bitkisel organizmalar ve sınırlı artıklar (özellikle petrol, yağ ve gıda sanayi artıkları) ile ilgilidir.

Bazı mikro organizmalar da fena kokuya yol açabilir. Bunların türleri, suya verdikleri koku ve giderilme yolları Ek.6. da verilmiştir.

Organik kirlenmeye uğramış yüzey sularında aneorobik şartlar ve fena kokular nitrat ilavesi ile önenebilir.



Reaksiyon sonucunda organik madde tüketilerek azot çıkışı görülür.

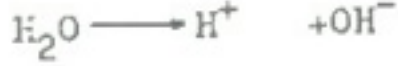
İyi bir içme suyunda, hissedilebilecek kadar koku ve tad bulunmazdır.

1.6. Suyun Kimyasal Özellikleri

Bu bölümde suda iyonlaşmış halde bulunan bazı maddelerin kaynakları ve suya etkileri anlatılacaktır.

1.6.1. Hidrojen İyonu Konsantrasyonu, pH

Saf su elektriği iletmez. Yani teorik olarak hiç iyonlaşmamıştır; suyu oluşturan hidrojen ve oksijenin tamamı H_2O molekülleri halindedir. Ancak pratikte çok az da olsa su moleküllü H^+ ve OH^- halinde iyonlaşmıştır.



Bu denklemin denge sabiti $K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$ bağıntısı

ile verilir ve $25^\circ C$ deki sayısal değeri 10^{-14} e eşittir. Buna göre saf suda $K = [H^+][OH^-] = 10^{-14}$ veya $[OH^-] = [H^+]$ olduğundan $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ yazılır.

Bu demektir ki, saf suda iyonlaşmış hidrojenin molar konsantrasyonu $[H^+] = 10^{-7}$ dir.

İyon konsantrasyonları bu şekilde $5,4 \cdot 10^{-8}$; $2 \cdot 10^{-10}$ gibi yazılır. Ancak çok kullanılan hidrojen iyonu konsantrasyonu için bu yazış tarzı çeşitli güçlüklerle yol açmaktadır. Bu yüzden hidrojen iyonu konsantrasyonunun, on tabanına göre eksi (-) logaritmasına PH denmesi kabul edilmiştir.

$PH = -\log [H^+]$ Saf su için $PH = 7$ dir. $PH = 7$ olması,

$[H^+] = [OH^-]$ olması demektir ki, böyle bir su için "nötr" denir.

$PH < 7$ ise $[H^+] > [OH^-]$ ve su asidik demektir.

$PH > 7$ ise $[H^+] < [OH^-]$ ve su bazik demektir.

Kirlenmemiş yeraltısuyunun pH değerini, karbondioksit-bikarbonat dengesi belirler. Karbondioksit suda karbonik asit oluşturur ve pH 1 düşürür.

Normal sulara pH genellikle 7 ile 8,5 arasındadır. pH'ı 9 dan yüksek olan sular içme ve sulama açısından uygun değildir. İnsan metabolizması belirli özellikte ve pH da bir suya alıştığı zaman, gene içilebilir özellikte olmasına rağmen değişik özellikte bir su içilince geçici rahatsızlıklar görülebilir. İçme suyunun biraz bazik olması tercih edilir. Çünkü bikarbonatlı ve bazik sular bünyedeki oksidasyonu hızlandırır ve oksijen üretimini % 30 arttırır ; yanmayı kolaylaştırır. İnsan kanında pH = 7.4 dır.

Yeraltısuyunun pH değerini, karbondioksit-bikarbonat dengesinin belirlenmesine rağmen, bu dengeyi etkilediği için suyun sıcaklık ve basıncı pH'ı değiştirir. Sıcaklığın artması veya basıncın azalması sonucundaki karbondioksitin bir kısmı açığa çıkacağından pH yükselir.

Bir kuyuda pompalama yapıldığında, düşümle ilgili olarak basınç düşer ve bir miktar karbondioksit açığa çıkar, sonuç olarak pompalama ile PH değişir (yükselir). Buna göre pompalama esnasında kuyudan alınan su örneğinin pH'ı akiferdeki suyun pH'ından farklı çıkar. Bilhassa korozyon ve kabuklanma etütleri için pH ve karbondioksit ölçümlerinin kuyubagında ve pompalamadan önce yapılması daha güvenilir sonuçlar verir. Bu sağlanamadığı takdirde, su örneği alınan çığelerin ağzı sıkıca kapatılmalı ve çığe üzerinde hava boşluğu bırakılmamalıdır.

Yeraltısularında çok seyrek rastlanan 5 den düşük pH değerinin sebebi, maden sularından gelen mineral asitleri, volkanik gazlar veya sanai atıklardan oluşan kirlenme olabilir.

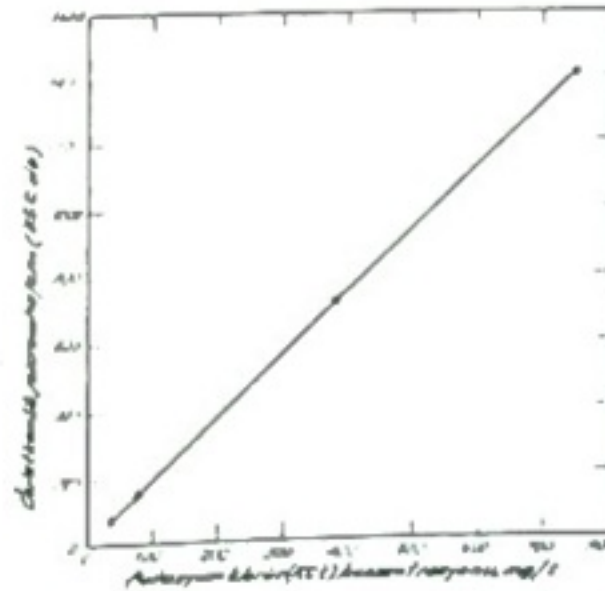
1.6.2. Öziletkenlik, EC

Öziletkenlik, öz direncin tersidir. Buna göre öziletkenlik, birim uzunlukta ve birim kesitteki bir cismin, belirli bir sıcaklıkta iletkenliğidir. Öz direncin birimi ohm, öziletkenliğin birimi ise mho ($1/\text{ohm}$) ile verilir. İletkenin uzunluğu cm, kesiti cm^2 ile veriliyorsa öziletkenliğin birimi mho/cm. olarak ifade edilir.

Dünyecinde iyon bulunan su da bir iletkendir. Çözeltiler elektrik akımını iyonlar vasıtası ile iletirler. Buna göre suyun öziletkenliği, sudaki iyon miktarı ile doğru orantılıdır. Bu ilişki dolayısıyla suyun öziletkenliği ölçülerek, sudaki iyon miktarı yaklaşık olarak tayin edilebilir. Böylece hiç bir analiz yapmadan suyun toplam tuzluluğu hakkında fikir edinmek mümkündür.

İyonların çözelti içindeki hareket yetenekleri aynı değildir. Bazı iyonlar (H^+ gibi) çok hızlı hareket ettikleri halde, bazıları daha yavaş hareket ederler. Bu hareketlilik (sabit sıcaklıkta) daha çok iyon çapı ile ilgilidir. Ayrıca sıcaklık da hareketliliği artırır.

Sonuç olarak, bütün iyonlar için öziletkenlik, iyon konsantrasyonu ile doğru orantılı olmakla birlikte, her iyon için bu oran (doğru eğilim) aynı değildir. Şekil : 2 de potasyum klorür çözeltisi için, çözelti konsantrasyonu ile öziletkenlik ilişkisi görülmektedir. Şekil : 3 de ise klorür, sülfat, kalsiyum ve magnezyum iyonlarının öziletkenliği nasıl değiştiği görülmektedir.



Şekil 2. Potasyum klorür çözeltisinde konsantrasyon ile öziletkenlik ilişkisi

Aradaki bu ilişkiden faydalanarak bir sudaki toplam çözünmüş katıların miktarı, iletkenlik ölçülerek tahmin edilebilir. Şekil 4 de verilen grafik, ülkemizin sularında ölçülen değerler kullanılarak çizilmiştir.

Buna göre genellikle iletkenliğin 0,60 - 0,75 (ortalama 0,64) ile çarpılması mg/l. olarak sudaki çözünmüş katıların verir. Yüksek konsantrasyonlarda, özellikle yüksek sülfatlı sularda bu katsayılar değişir.

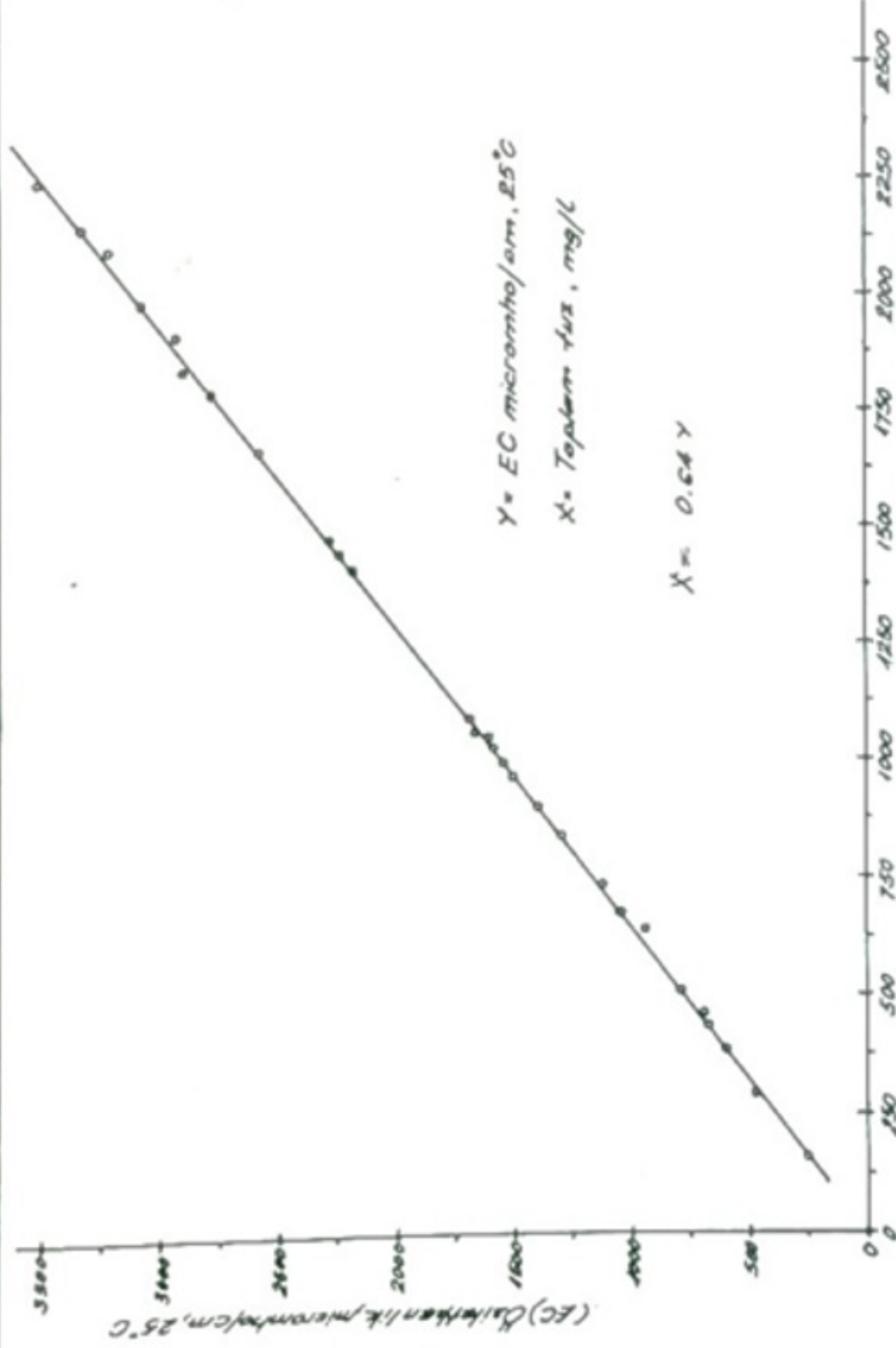
Aynı şekilde, bu ilişkiden faydalanarak bulunan ampirik sonuçlara göre, normal sularda micromho/cm olarak verilen iletkenliğin yüz'e bölünmesi ile, sudaki anyon (=katyon) toplamı mek/l. olarak hesaplanır.

Bu sonuçların pratikteki faydası, bir suyun iletkenliğini ölçerek, analizini yapmadan suyun kalitesi hakkında bir ön fikir edinme imkânı sağlamasıdır. Ayrıca iletkenliği hayli farklı suların, değişik kökenli ve farklı kalitede sular olduğu da ilk baştan söylenebilir. (Bunun tersi doğru değildir. Yani iletkenlikleri aynı suların kaliteleri ve kökenleri çok farklı olabilir.)

Çift destile edilmiş bir suda iletkenlik 1-10 micromho/cm arasında değişir. Yağmur suyunda ise, yağışın düştüğü bölgeye, denizden uzaklığa ve mevsime göre 10-150 micromho/cm. civarında iletkenlik ölçülebilir. Mart ayında Silifke'den alınan yağmur suyunda 104 , Pülümür'den alınan kar suyunda ise 7 micromho/cm iletkenlik ölçülmüştür.

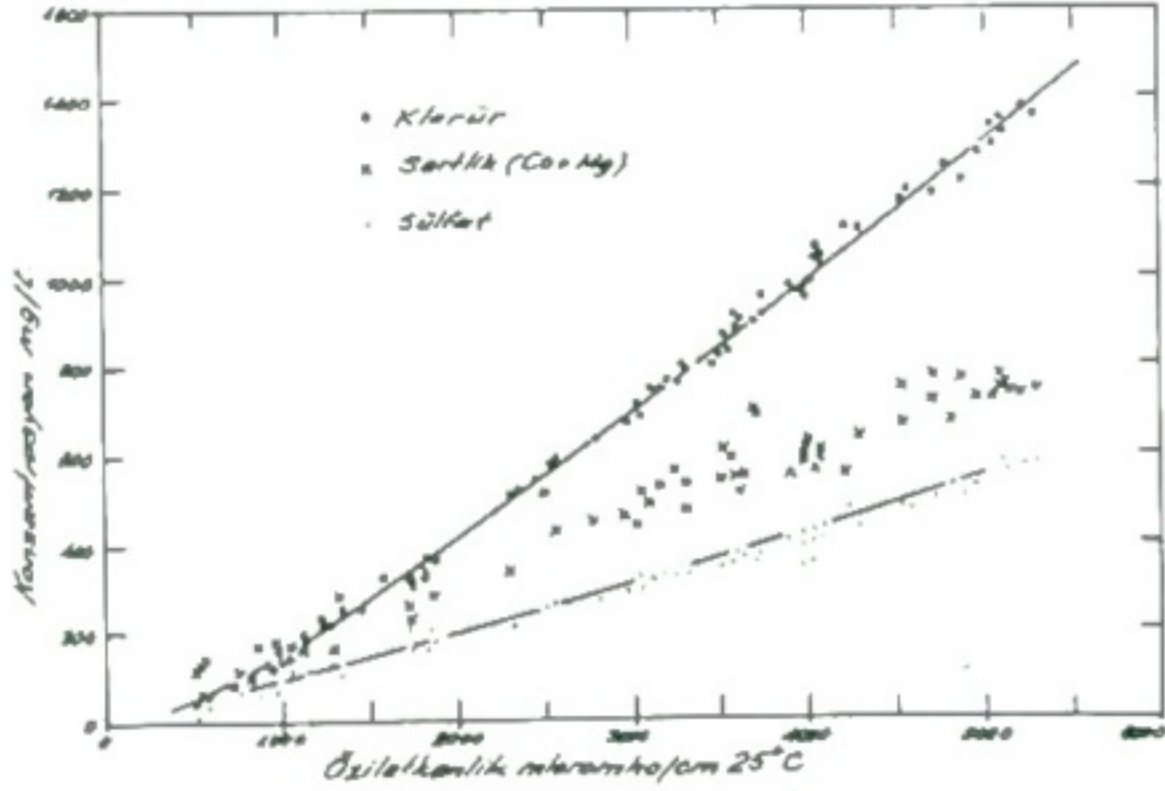
Deniz suyunda iletkenlik denizin tuzluluğuna göre 30-75 bin micromho/cm arasında değişir. Sahillerimizden alınan sularda , Samsun'da 34000, İzmit Körfezinde 42 000, Mersin'de 70 000 micromho/cm mertebesinde EC değerleri ölçülmüştür. (Bakınız Ek : 4/E)

Çözeltideki iyonların iletkenliği sıcaklık ile değişir. Sıcaklık arttıkça aynı konsantrasyondaki çözeltinin ölçülen iletkenliği de artar.

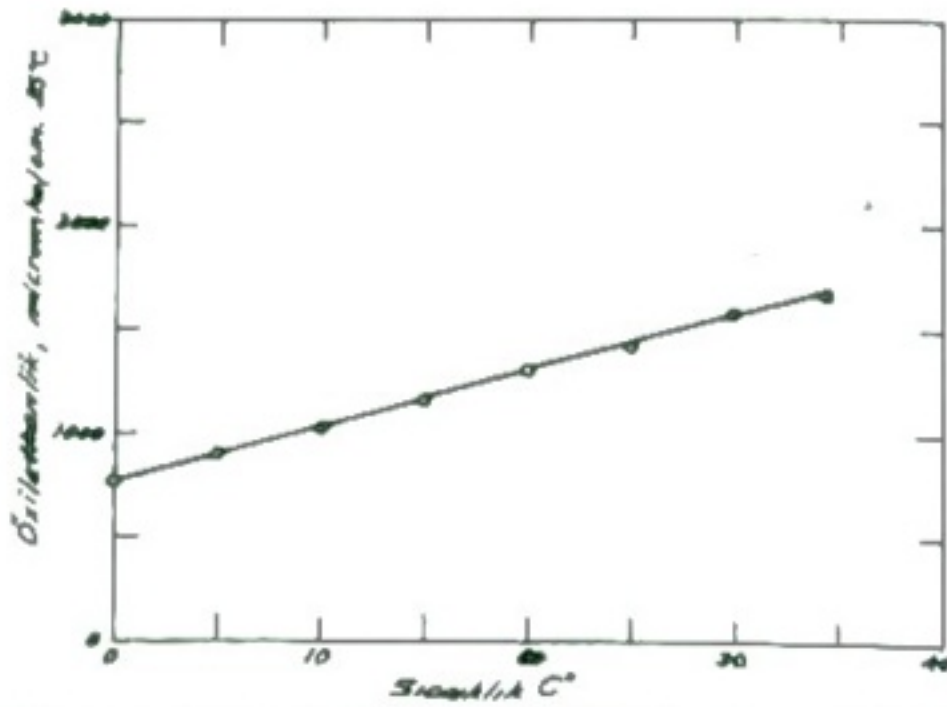


ŞEKİL 14. ÖZİLETKENLİK İLE ÇÖZÜNÜMÜŞ KATILAR ARASINDAKİ İLİŞKİ (DENEYSEL SONUÇ)

Sıcaklık ile iletkenliğin ilişkisi, iyon cinsine ve konsantrasyon aralığına bağlı olarak değişir. Genel olarak düşük konsantrasyonlarda, sıcaklık 1°C değişince iletkenlik % 2 oranında değişir. Şekil 5 deki grafikte, potasyum klorürün 0,01 molar (746 mg/l) çözeltisi için $0-35^{\circ}\text{C}$ aralığında iletkenlik-sıcaklık ilişkisi görülmektedir.



Şekil 3- İletkenlik ile klorür, sülfit ve sülfat konsantrasyonlarının ilişkisi



Şekil 5- 0,01 molar KCl çözeltisinde iletkenliğin sıcaklıkla değişimi

Öziletkenlik sıcaklıkla değiştiği için, farklı sıcaklıklarda ölçülmüş EC değerleri ile suları karşılaştırmak doğru olmaz. Bütün suların öziletkenliğini aynı sıcaklıkta ölçmek mümkün olmadığından, ölçülen EC değerlerinin standart bir sıcaklıktaki eşdeğerini vermek ve bu değerler üzerinden suları karşılaştırmak gerekir. Genellikle EC değerleri 25°C deki değerler olarak verilmektedir. Herhangi bir sıcaklıkta ölçülen EC nin, 25°C deki eşdeğerini bulmak için, ölçülen EC, o sıcaklık için verilen düzeltme faktörü ile çarpılır. (Tablo:5)

1.6.3. Asidite

Bir suyun bazları nötralleştirme gücüne suyun asiditesi denir. Genellikle yeraltısuyunda serbest mineral asitleri bulunmaz. Çok seyrek olarak, maden yataklarında, pirit ve diğer metal sülfürlerinin değişime uğraması sonucu sülfürik aside rastlanabilir.

Yeraltısuyunu asidik yapan genellikle karbon dioksitin oluşturduğu karbonik asittir. Karbon dioksit etkisi ile pH'nın 5.5 dan daha aşağılara düşmesi mümkündür.

Suyun asidik olması çözünürlüğünü arttırır. Böyle suların en önemli özelliği korozif oluşlarıdır.

1.6.4. Alkalilik

Bir suyun asidi nötralleştirme gücünü onun alkaliliği olarak tanımlıyoruz. Suyun alkali sayılabilmesi için pH'nın 7 den fazla olması gerekmez ; 7 den düşük pH değerlerinde bile, suda asidi nötralleştiren bazı elemanlar bulunabilir. (proton alabilen, başka bir deyişle elektron verebilen maddeler baz olarak tariflenir.)

Sudaki karbonat ve bikarbonat iyonları suyun alkalinitesini arttırırlar. Klorür, sülfat ve nitrat iyonlarının böyle bir etkisi yoktur. Hidroksit iyonları da suya kuvvetli alkalilik verir. Fakat yeraltısuyunda bu iyon çok ender rastlanır.

Normal sularda alkalinite, karbonat alkalinitesi ve bikarbonat alkalinitesi olmak üzere iki şekilde bulunur. $pH < 8.3$ ise karbonat alkalinitesi yok demektir. Yeraltısuyu genellikle bikarbonat alkalinitesi ihtiva eder ; karbonat alkaliliğine seyrek rastlanır. Hidroksit ve bikarbonat alkaliliği birarada bulunmaz. Toplam alkaliliğin yarısından fazlası karbonat alkaliliği olarak bulunmuş ise onda hidroksit var demektir. Bu takdirde bikarbonat yoktur.

Tablo: 5 - Değişik sıcaklıklar için iletkenlik düzeltme faktörleri

Sıcaklık	Faktör	Sıcaklık	Faktör	Sıcaklık	Faktör
3°C	1.709	22.0	1.064	29.0	0.925
4	1.660	22.2	1.060	29.2	0.921
5	1.613	22.4	1.055	29.4	0.918
6	1.569	22.6	1.051	29.6	0.914
8	1.488	23.0	1.043	30.0	0.907
9	1.448	23.2	1.038	30.2	0.904
10	1.411	23.4	1.034	30.6	0.897
12	1.341	23.8	1.025	30.8	0.894
13	1.309	24.0	1.020	31.0	0.890
14	1.277	24.2	1.016	31.2	0.887
15	1.247	24.4	1.012	31.4	0.884
16	1.218	24.6	1.008	31.6	0.880
17	1.189	24.8	1.004	31.8	0.877
18.0	1.163	25.0	1.000	32.0	0.873
18.2	1.157	25.2	0.996	32.2	0.870
18.4	1.152	25.4	0.992	32.4	0.867
18.6	1.147	25.6	0.988	32.6	0.864
18.8	1.142	25.8	0.983	32.8	0.861
19.0	1.136	26.0	0.979	33.0	0.858
19.2	1.131	26.2	0.975	34.0	0.843
19.4	1.127	26.4	0.971	35.0	0.829
19.6	1.122	26.6	0.967	36.0	0.815
19.8	1.117	26.8	0.964	37.0	0.801
20.0	1.112	27.0	0.960	38.0	0.788
20.2	1.107	27.2	0.956	39.0	0.775
20.4	1.102	27.4	0.953	40.0	0.763
20.6	1.097	27.6	0.950	41.0	0.750
20.8	1.092	27.8	0.947	42.0	0.739
21.0	1.087	28.0	0.943	43	0.727
21.2	1.082	28.2	0.940	44	0.716
21.4	1.078	28.4	0.936	45	0.705
21.6	1.073	28.6	0.932	46	0.694
21.8	1.068	28.8	0.929	47	0.683

Herhangi bir sıcaklıkta ölçülen EC nin 25°C deki eşdeğerini bulmak için EC, ölçülen sıcaklıktaki faktörle çarpılır.

Karbonat veya bikarbonatça zengin sularda genellikle bu anyonları dengeleyen kalsiyum ve magnezyum da fazladır. Bu yüzden böyle sular kalsiyum dengesine bağlı olarak kabuk yapıcı olabilirler.

1.6.5. Sertlik

Sudaki-iyonlardan kalsiyum, magnezyum, demir, mangan ve alüminyum toplu etkisini gösteren bir terimdir. Normal bir suda bu iyonlardan sadece kalsiyum ve magnezyum önemlidir ; diğerleri ihmal edilebilecek kadar az bulunur.

Sertlik sudan sabun köpüğü elde etmek için sarfedilen sabun miktarına göre de tariflenebilir. Sularda sertlik yapan iyonlar (Ca^{+2}, Mg^{+2}, \dots) sabunun bileşimindeki alkalilerle (Na^+, K^+) yer değiştirerek suda çözünmeyen bileşikler olarak çökelmedikçe sular köpürmez. Bu yüzden sert sularda sabun sarfiyatı daha fazladır. Aynı ayrı kullanımlarda önemli görülmezse bile, toplu kullanımlarda ve sanai tesislerde oldukça önemli ekonomik kayıplara yol açar. Bu kayıpları önlemek için suların yumuşatılması gerekir. (Suları yumuşatma metotları Ek:5 de verilmiştir.)

Sağlık açısından sertliğin organizma üzerinde zararlı bir etkisi henüz tesbit edilmemiştir. Üte yandan sertlik maddeleri olan kalsiyum, magnezyum ve demir insan bünyesi için lüzumlu elementlerdir. Ayrıca bir litre inek sütünde 20-25 mg 'ne eşdeğer sertlik maddesi vardır.

Sabun sertliği, ısıtılma esnasında uğruyacağı değişikliğe göre ikiye ayrılır.

a) Geçici sertlik : (karbonat sertliği) ısıtıldıkları zaman sudan kalsiyum ve magnezyum bikarbonatları geçici sertlik veren maddelerdir. Bikarbonatlar ısıtılma sonucu karbonatlara dönüşür ve beyaz, kahverengi bir tuz olarak çökeltilebilir.



Karbondiyoksitin bikarbonat iyonu ile zayıf bir bağlantısı vardır. Su ısıtılınca bir kısım karbondiyoksit gaz halinde sudan ayrılır. Bunun sonucu olarak sudaki bikarbonatların bir kısmı karbonata dönüşür. Bu şekilde oluşan karbonat suya sertlik veren kalsiyum ve magnezyum iyonları ile birleşerek suda güç çözünen CaCO_3 ve MgCO_3 şeklinde çöker. CaCO_3 , MgCO_3 den daha güç çözüldüğü için suda önce CaCO_3 , sonra MgCO_3 çöker. (Karbondiyoksit bulunmayan bir suda CaCO_3 14 mg/l. aynı şartlarda MgCO_3 ise 80 mg/l. kadar çözünebilir. Karbondiyoksit kalker ve dolomitin çözünürlüğünü artırır. (Bkz. Karbondiyoksit bölümü: 1.6.22)

2. Kalıcı sertlik (karbonat olmayan sertlik) suyun ısıtılması ile giderilmeyen sertliktir. Kalıcı sertlik genellikle toprak alkali metallerin silikat, klorür, sülfat ve nitratlarından ileri gelir.

Bir suda alkalinite ile sertlik aynı birimle verilmiş ise, sertliğin alkaliniteden fazla olan miktarı suyun karbonat olmayan (kalıcı) sertliğini verir. Alkaliniteye eşit veya daha az ise sertliği tamamı karbonat sertliğidir. Sertliğin kalıcı veya geçici olması endüstride (bilhassa kazan besleme suyunda) büyük önem taşır.

Sular sertlik derecelerine göre değişik şekillerde sınıflandırılırlar. Fransız sertlik derecesi (FS°) esas alınarak yapılan şu sınıflandırma yaygındır. (Değişik sertlik birimleri ikinci bölümde verilmiştir.)

<u>FS°</u>	<u>Sınıflandırma</u>
0-7	Çok yumuşak
7-14	Yumuşak
14-21	Hafif sert
21-32	Yeterince sert (orta sert)
32-45	Sert
45-90	Çok sert

1.6.6. Kalsiyum

Normal suların başlıca katyonu genellikle kalsiyumdur. Çünkü toprakta ve birçok kayada kalsiyum yaygın ve bol miktarda bulunur.

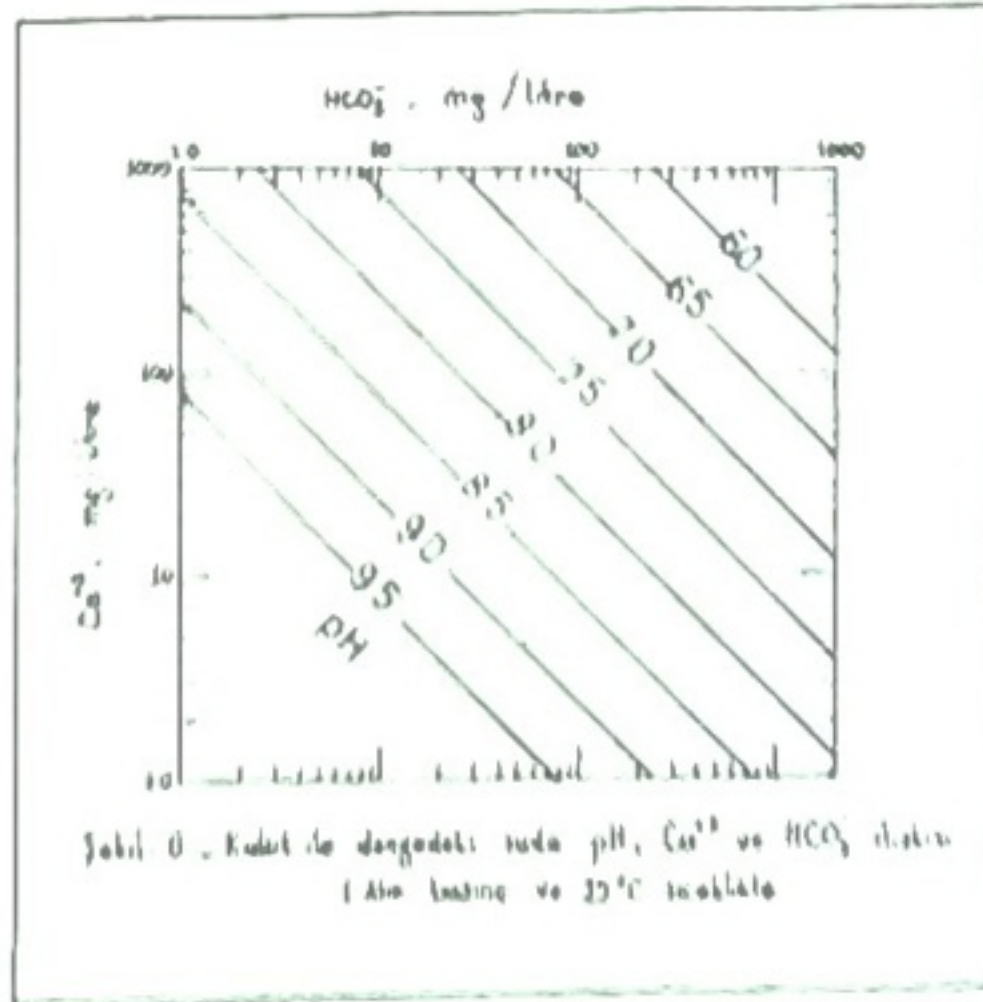
Kalsiyum, çok fazla olmamak kaydı ile insan bünyesinde zararlı bir etki göstermez. Ayrıca özellikle kemik tegekkülü ve gelişiminde kalsiyum önemli rol oynar.

Bitki gelişmesinde kalsiyum gereklidir. Sulama suyunda bulunan fazlaca kalsiyum, sodyum tehlikesini azaltıcı etki gösterir. Buna karşılık çok yüksek konsantrasyonlarda bulunması halinde bitkilerde, özellikle havuç ve fasulyede potas alımını azaltmaktadır.

Sudaki kalsiyumun başlıca kaynakları, kalsiyum silikatlar, karbonatlar ile aragonit, dolomit, jips, anhidrit ve apatit gibi minerallerdir. Ancak bunların en önemlisi kalsit ve jipstir.

Kalsit 25°C de saf suda 14 mg/l kadar çözünür. 100°C deki çözünürlüğü ise 20 mg/l'dir. Sudaki karbondioksit miktarı ile orantılı olarak kalsitin çözünürlüğü artar.

Hava ile temasta olan suda, hava içindeki kısmi basıncı ile orantılı olarak bir miktar CO_2 çözünür. Suda çözünen CO_2 , suyun pH nı etkiler. Sonuç olarak, suda çözülmüş CO_2 , Ca^{+2} , HCO_3^- ve pH arasında matematiksel ilişkiler kurulabilir. 1 Atm. basınç ve 25°C sıcaklık şartında, kalsit ile temasta olan bir suda, Ca^{+2} , HCO_3^- ve pH dengesi Şekil 6 da görülmektedir.



Bilindiği gibi normal havada % 0.3 oranında CO₂ vardır. Havadaki bu CO₂ etkisi ile suda 20 mg/l. kalsit çözünür. CO₂ nin kısmi basıncı artınca suyun çözebileceği Ca⁺² miktarı da artar. Bu ilişki şekil 7 de görülmektedir.

Derin kuyulardaki hızlı seviye düşümü sonucu meydana gelen basınç düşmesi veya sıcaklıktaki yükselmeler gibi sebeplerle karbondioksit kaybı olur. Bu kayıp karbonat dengesini bozar ve kalsiyumun çökmesine yol açar. Bu olay pompalamaya bağlı kireçlenmeleri izah etmektedir.

Yüzey sularında mevsimlere göre farklı Ca⁺² değerleri elde edilebilir. Çünkü yaz aylarında su bitkilerinin fotosentezinde harcanan CO₂ dolayısı ile suyun Ca⁺² çözme gücü azalır. Ayrıca yaz aylarında sıcaklık kısmen yüksek olduğu için suyun çözebileceği CO₂ de azalmıştır.

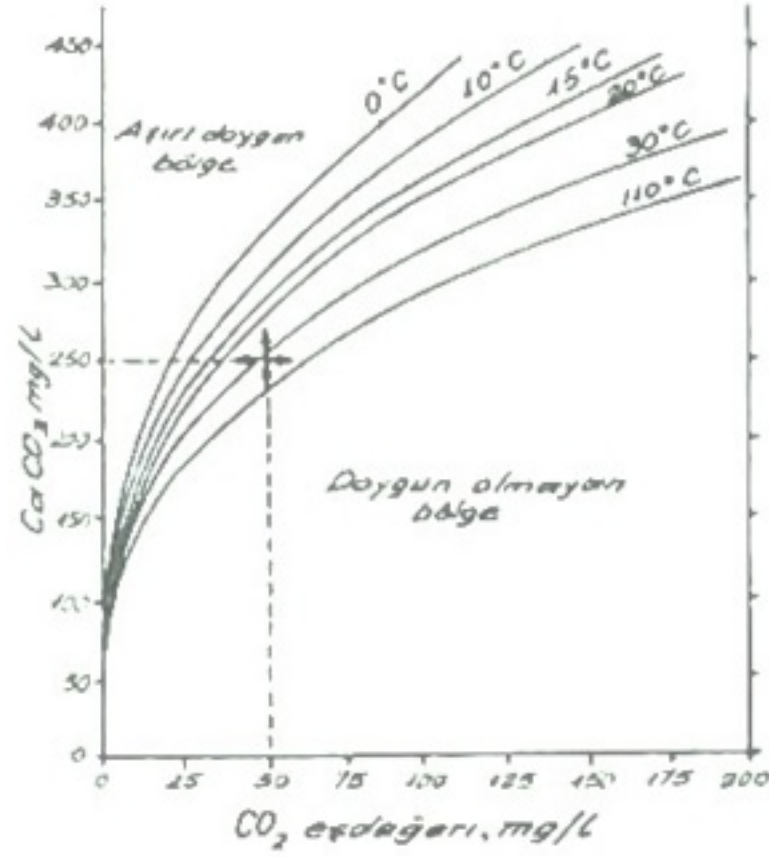
Jipsin suda çözünürlüğü kalsitten daha fazladır. Suda çözünmüş başka iyon yoksa, sadece jips çözerek bir suyun kalsiyum konsantrasyonu 600 mg/l. ye kadar yükseltebilir. Mühterek iyonlar birbirinin çözünürlüğü azaltırken, farklı iyonlar çözünürlüğü artırır. Suyun NaCl çözmesi ile jipsin çözünürlüğü artar. (Bölüm : 1.6.16 şekil : 8)

Kalsiyum klorür suda çok çözünmesine rağmen yer kabuğunda pek rastlanmaz.

Tablo : 6 _ Kalsiyum için örnek su analiz sonuçları

	EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Org.
SK.8307	900	7.9	1.34	0.13	4.10	3.80	0.0	5.10	0.80	3.47	3.04
SK.8311	1200	7.6	2.60	0.19	6.10	4.10	0.0	4.80	1.80	6.39	3.36
SK.8305	550	7.5	0.62	0.08	4.20	0.40	0.0	4.40	0.28	0.62	5.52

EC, micromho/cm; organik madde, mg/l.; iyonlar mek/l.birimile verilmiştir.



Şekil 7- CO_2 konsantrasyonu ile kireç taşı çözünürlüğünün ilişkisi

Eriyikteki CO_2 nin ve sıcaklığın fonksiyonu olarak kalsiyum karbonatın doygunluk eğrileri.

250 mg/L CaCO_3 ve 50 mg/L CO_2 kapsayan doygun bir su soğutulursa daha çok CaCO_3 eritebilir. Isıtılırsa bir miktar CaCO_3 anyiklen ayrılır. Eğer aynı gün bir su az CO_2 kapsayan hava ile temas geçerse bir miktar CO_2 kaybeder ve yine CaCO_3 ağırla çıkar. Kendisinden daha çok CO_2 kapsayan hava ile temas geçerse CO_2 olarak daha çok CaCO_3 eritir.

Yukarıda analizleri verilen kuyular Konya-Merkez-Yenibuhçe kooperatif sahasındadır. İlk iki kuyu kireçtaşlarından su almaktadır. Görüldüğü gibi sulara hakim iyonlar kalsiyum ve bikarbonattır.

Ancak her iki kuyu suyunda HCO_3^- değeri birbirine çok yakın olduğu, yani hemen hemen aynı miktar kireçtaşı çözdükleri halde, ikinci kuyuda Ca^{+2} , Mg^{+2} ve $\text{SO}_4^{=}$ miktarı ilkinin göre daha fazladır. Yani bu su diğerinden fazla jips çözmüştür. Bu suda NaCl nin daha fazla olması jipsin suda çözünürlüğünü artırmıştır. Bu yüzden EC de diğerinden yüksektir.

SK.8305 numaralı kuyu ise hemen hiç jips çözmemiştir. $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ ile HCO_3^- denk olup, tipik kireçtaşı suyunun temsil etmektedir. Jips çözmediği için EC si de fazla yüksek değildir.

1.6.7. Magnezyum

Normal tatlı sularda magnezyum genellikle kalsiyum ve sodyumdan sonra üçüncü iyon durumundadır.

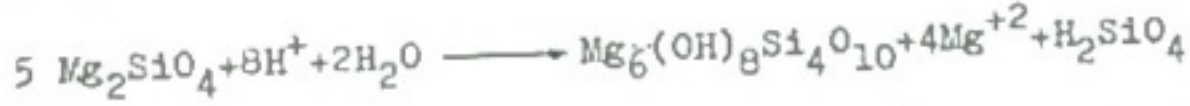
Fazla magnezyumlu suların acı bir tadı vardır. İçme suyunda magnezyum miktarı 125 mg/l.yi geçmemelidir ; daha fazlası müshil etkisi gösterir. Ağıştıkları sudan daha fazla magnezyum ihtiva eden bir suyu içmek zorunda kalanlar, geçici bağırsak rahatsızlığı çekebilirler. Ayrıca magnezyum suya sertlik veren başlıca iyonlardan biridir.

Halk dilinde acı su denen kaynaklar, magnezyum sülfat yönünden zengin sulardır. "içme" olarak kullanılan bu sular, müshil etkisi gösteren sular olup, mide, bağırsak, karaciğer ve safra yolu ile metabolizma bozukluğundan ileri gelen rahatsızlıklar için iyi gelmektedir.

Magnezyum, bitki yapraklarına yeşillik veren klorofilin önemli bir bileşim unsurudur. Ayrıca kalsiyum gibi, sulama suyunda sodyum tehlikesini azaltıcı olumlu etkisi de vardır.

Olivin, pyroxene, amphibol ve koyu renkli mikaların önemli bileşenlerinden biri magnezyumdur. Ayrıca karbonat ve oksit halinde de bulunur. Magnezit ve dolomit bu tür bileşikleridir. Suda genellikle magnezyum karbonat şeklinde çözünür. Magnezyum karbonat ve magnezyum sülfatın sudaki çözünürlüğü, kalsiyumun bu tuzlarına göre daha fazladır. Magnezit soğuk suda 100 mg/l.kadar çözünür. Magnezitin hidratları ise kendisinden daha çok çözünür. (Nesquehonite $MgCO_3 \cdot 3H_2O$, lansfordite $MgCO_3 \cdot 5H_2O$)

Sudaki karbondioksit, magnezyum silikatların ve magnezitin çözünürlüğü artırır.



Magnezyum hidroksit (brucite) sülfat ve karbonatlardan daha az çözünür. (18°C de 9 mg/l.)

Dolomit ile temasta ve doymuş bir suda kalsiyum ve magnezyum miktarı yaklaşık olarak aynıdır. (Mek/l.cinsinden) Aşırı doymuş bir suda ise magnezyum daha fazladır.

Seyrek rastlanca bile bazı sularda magnezyum hakim kation durumundadır. Göl veya denizlerde olduğu gibi sürekli buharlaşmaya uğrayan tuzlu sularda magnezyum kalsiyumdan fazladır. Magnezyum silikat mineralleri veya olivinler ile kimyasal reaksiyon vermiş sularda da magnezyum hakim kation durumundadır.

Tablo : 7 - Magnezyum için örnek su analiz sonuçları

NO	EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼
1	510	8.4	1.70	0.10	1.40	2.80	0.80	4.00	0.55	0.24
2	410	8.2	0.35	0.08	2.00	2.30	0.30	4.19	0.24	0.24
3	195	7.8	0.23	0.10	0.80	0.90	0.0	1.05	0.24	0.61
4	440	8.5	0.32	0.10	0.60	3.80	0.64	3.42	0.30	0.46
5	506	7.9	0.30	0.05	1.50	2.90	0.0	3.61	0.50	0.74

EC, micromho/cm; iyonlar mek/l. birimiyle verilmiştir.

- (1) Karamık Gölü, Afyon (2) Eğridir gölü (3) Selevir Barajı (Afyon)
(4) Konya-Merkez-Hatip SK.8184 (5) İçel-Gilindire-Sipahili Deresi

Yukarıda görülen analizlerin ortak özelliği, hakim katyonlarının magnezyum oluşudur.

1. analiz, bir bataklık suyuna aittir ve sürekli buharlaşma sonucunda Mg^{+2} artışı olmuştur. (Mg^{+2} tuzları Ca^{+2} dan daha fazla çözündüğünden zamanla Mg^{+2} fazlalaşmıştır. Aşırı doyma sonucu çökme olayı meydana gelse önce Ca^{+2} tuzları çökeceğinden gene Mg^{+2} artışı gözlenecektir.)

2. ve 3. analizler göl ve baraj sularına ait olup, gene Mg^{+2}/Ca^{+2} oranı 1 den büyüktür.

4. analiz, serpantinden su alan bir sondaj kuyusuna aittir. Burada görülen fazlaca Mg^{+2} nun kaynağı muhtemelen serpantin içindeki olivindir.

5. analiz ise, dolomitik kireçtaşlarından beslenen bir mevsimlik akarsuya aittir. Görüldüğü gibi Mg^{+2}/Ca^{+2} oranı 2 civarındadır.

1.6.8. Sodyum

Alkali metaller grubundan olan sodyumun iyonu, tek değerli bir katyondur (Na^{+}). Bu grupta bulunan diğer metaller potasyum, lityum, rubidyum ve sezyumdur. Ancak bunlar içinde suda en çok bulunanı sodyumdur.

Bütün yeraltısularında az veya çok sodyum bulunur. Çünkü bütün sodyum bileşikleri suda kolayca çözünürler. ($0^{\circ}C$ de ağırlıkça % 5 ile % 40 arasında değişen çözünürlükleri vardır. Sıcak suda çözünürlük artar.

Suya tuzlu bir tad verdiği için, içmesularında 200 mg/l.den fazla sodyum istenmez. Aslında sağlıklı insanlar için, bundan daha fazla sodyumlu sular bile, fizyolojik açıdan önemli değildir. Ancak kalb, böbrek ve dolaşım rahatsızlığı olan kimseler daha az sodyumlu sular içmelidir.

Sulama açısından sodyum son derece önemlidir. Sulama suyu sınıflandırmaları, genellikle doğrudan veya dolaylı olarak suyun sodyum konsantrasyonuna dayandırılmaktadır.

En çok rastlanan sodyum bileşikleriyemek tuzu olarak bilinen sodyum klorür (NaCl), soda ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), sodyum sülfat (Na_2SO_4 = fhenardit ve $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ = mirabolit) sodyum nitrat (NaNO_3) ve sodyum silikatlarıdır.

Volkanik kayaların % 60 ını meydana getiren feldispatlar, alkali ve toprak alkali metallerin alümino silikatlarıdır. (Albit = sodyum alüminyum silikat, anortit = sodyum kalsiyum silikat) Albit, CO_2 li suların etkisi ile parçalanarak silis, sodyum karbonat ve kili meydana getirir.

Volkanik kayalarda sodyum potasyumdan daha fazla, sediman kütlelerinde ise daha az bulunur.

Yemek tuzu olan halite (NaCl) ve mirabolit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) suda çok çözünen ve genellikle sudaki sodyumun kaynağı olan sodyum mineralleridir.

Toprakları yıkayan suların son durağı olması dolayısı ile, sodyum deniz suyunda bol miktarda ve NaCl olarak bulunur. Deniz suyunda ortalama sodyum miktarı 10000 mg/l. civarındadır.

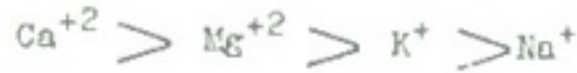
Kireçtaşlarından alınan yeraltısuunda sodyum miktarı oldukça düşüktür. Bu sularda sodyum, genellikle sodyum klorür veya sodyum karbonat şeklinde bulunur.

Sodyum sertlik veren bir katyon değildir. Kabuk yapıcı etkisi de yoktur. Çok fazla olmamak kaydı ile korozyonu etkilemez. Fazlası elektrokimyasal olayları hızlandırmak yönünden korozyon hızını artırır.

Sodyumun sulama açısından önemi, toprak ve bitkiler üzerinde gösterdiği zararlı etkiler yüzündendir. Genellikle tek değerli katyonlar çift değerlilere göre, bitkiler üzerinde daha fazla zehirleyici etki gösterirler.

Sulama suyunda sodyum tehlikesi, sodyum iyonunun sudaki konsantrasyonundan çok, toplam katyonlar içindeki nisbi sodyum miktarına bağlıdır. Sodyum yüzdesi fazla olan suların sulamada kullanılması ile, sudaki sodyumun bir kısmı topraktaki kiler tarafından tutulur. Toprak tuttuğu sodyuma karşılık suya kalsiyum ve magnezyum verir. Bu olaya baz değişmesi veya iyon (katyon) değişmesi denir. Ortamın durumuna göre baz değişmesi ters yönde de olabilir. Katyon değişimi yüzeysel bir reaksiyon olup difüzyon ve denge değişimi ile gelişir. Genellikle hızla yürür ve birkaç dakikada tamamlanır.

Bir toprağın katyonları tutma ve değiştirme kapasitesi, topraktaki kil ve organik madde miktarına ve kilin cinsine göre değişir. Katyonlar içinde çift değerli iyonlar, tek değerli iyonlardan daha kuvvetli tutulurlar. Tutulma kuvveti şöyle bir sıra takibeder.



Normal toprakların çok az sodyum ve potasyum ihtiva etmesinin sebebi, bu iyonların tek değerli oluşları yüzünden toprak tarafından az bir kuvvetle tutulmalarıdır.

Katyonların toprak tarafından tutulma gücü aşağıdaki faktörlere göre değişiklik gösterir.

- a. Eriyiğin (çözeltinin) konsantrasyonu
- b. Yeri değiştirilecek katyonun cinsi
- c. Topraktaki bağlı katyonun cinsi

Ayrıca katyon değişimi bir dereceye kadar sıcaklık ile doğru orantılıdır.

İyon değişimi toprağın fiziksel özelliğini değiştirir. Killi toprak sodyumca zenginleştikçe iletildiği zaman yapışkan olur ve cıka bir hal alır; geçirgenliği azalır. Kuruyunca da kabuk oluşturur. Bunun sonucu olarak toprak, tarım açısından uygun olmayan bir şekle döndür.

Sodyum oranı % 50 yi geçerse sulama suyunda sodyum tehlikesi var demektir. Topraktaki sodyum miktarı artarak, sodyum hakim katyon haline geçerse toprakların sodikleşmesi (alkali toprak oluşması) söz konusudur.

Sodikleşme, değişebilir sodyumun sebep olduğu toprak durumunu tanımlar. Sodik topraklarda pH 8,5 ile 10 arasında değişir. Yani sodik topraklarda az veya çok karbonat iyonu vardır.

Sodiklik tuzlanmayı takibeden bir olaydır. Tuzlanmanın kimyasal etkisi olmadan sodiklik meydana gelmez. Sodiklik bir bakıma özel bir tuzluluktur.

Tuzluluk ve sodikliğin bitkiler üzerindeki etkisi başlıca üç, şekilde olmaktadır.

a. Fiziksel etki : Toprağın tuz konsantrasyonu çoğaldıkça ozmotik basıncı artar. Bunun sonucu bitkilerin su alması, dolayısı ile beslenmesi zorlaşır veya tamamen durur.

b. Kimyasal etki : Bir kısım tuzlar bitki besin maddelerinin alınmasını güçleştirir. Bunun sonucu olarak metabolizma bozularak bitki bünyesi zarar görür.

c. Dolaylı etkiler : Tuzluluk ve sodiklik toprağın özelliklerini değiştirdiği için bitkilerin gelişmesini de etkiler. Bazı hallerde % 5 den daha az sodyumlu normal topraklarda bile, bitkiler sodyumun yukarıda anlatılan zararlarına uğramaktadır.

Bitki yapraklarında sodyum birikmesi yaprak kuru ağırlığının % 0,5 ini geçtiği zaman, yaprakların kenarları kurumaya başlar ve zamanla dökülür.

Bitkilerin tuzluluğa ve sodikliğe direnci farklıdır. Konu ile ilgili tablolar 4. bölümde verilmiştir.

Sulama sularında sodyuma göre yapılan sınıflandırmaya ve değerlendirmeler "sulama suyu kriterleri" bölümünde ayrıca anlatılmıştır.

Tablo : 8 - Sodyum için örnek su analiz sonuçları

Su Noktası	pH	EC	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼
Acıgöl	9.1	3300	31.20	0.45	1.70	0.20	7.48	20.64	2.90	2.53
Burdur gölü	8.7	30.000	234.00	1.28	80.0		12.60	13.3	103.0	186.4
Van gölü	9.6	39.000	366.0	11.4	10.4		53.0	4.4	156.0	173.9
Yurtbaşı madensuyu	6.2	9500	25.0	1.73	2.08	5.60	0.0	22.4	9.55	0.65
Bergama	8.4	1650	13.2	0.23	0.77	0.29	1.21	10.13	1.16	6.45

İyonlar mek/l. birimiyle verilmiştir.

Yukarıda, hakim katyonu sodyum olan çeşitli tür su örnekleri görülmektedir.

1. Örnek Afyon-Acıgöl'e aittir. Görüldüğü gibi suda sodyum ve bikarbonat hakimdir. Sodali bir su özelliğindedir. Bu yüzden yüksek pH değerine sahiptir.

Burdur Gölü ve Van gölü suları ise sodyum klorür ve sodyum sülfatlı bir özellik göstermektedir. Van gölündeki yüksek pH'nın sebebi nisbeten fazla karbonatlı olmasıdır.

Yurtbaşı maden suyu Elazığ ovasında alüvyondan çıkan bir soğuk mineral kaynağıdır. Sodyum klorür ve sodyum bikarbonatça zengin olan kaynak, ayrıca fazla CO₂ ihtiva ettiğinden düşük pH değerine sahiptir.

Andezitlerden fay kaynağı olarak çıkan Bergama Güzellik Ilıcasının suyu ise sodyum bikarbonat ve sodyum sülfat yönünden zengindir. Muhtemelen andezit içindeki sodyum silikatları parçalayarak sodyumca zenginleşmiştir. (35°C)

1.6.9. Potasyum

Potasyum alkali metaller grubundan bir metal olup, genellikle doğal suların hepsinde bulunur. Ancak sodyuma göre daha az miktarlarda rastlanır.

Sulardaki potasyumun başlıca kaynağı potaslı feldispatlar ve mikalardır. Sodyumlu feldispatlara nazaran, potasyumlu feldispatların suyun çözücü etkisine karşı direnci daha yüksek olduğundan sulardaki potasyum miktarı sodyuma göre çok azdır. (Potasyumlu feldispatlar karbondioksitli suların etkisi ile parçalanarak silis, kil ve potasyum verirler.)

Volkanik kayalarda sodyumdan daha az bulunan potasyum, sedimenter kayalarda sodyumdan fazladır. Denizlerde ve tuzlu göllerde potasyum konsantrasyonu bir hayli yüksektir.

Bitki yetiştirilmesinde potasyum önemli ve gereklidir. Çok defa toprak ve sudaki potasyum yeterli olmadığı için gübre olarak toprağa potasyum verilir. Toprağın özelliğine etkisi kalsiyum ve magnezyum gibidir.

Potasyum, bazı hastalıklara karşı bitkilerin direncini artırır, kök sistemini takviye eder. Bitkilerde niçasta teşekkülü ve şekerin bitki bünyesinde yer değiştirmesi için oldukça önemli olan potasyum klorofil teşekkülünde de rol oynar. Tahıllarda tohum oluşumunda etkili olup tanelerin dolgun ve ağır olmasını sağlar.

Potasyum sularda az bulunması, bitkiler için besleyici bir element olması yüzünden bitkiler tarafından alınmış olmasındandır. Bitki köklerindeki potasyum, sodyuma göre 100 misli daha fazladır.

1.6.10. Demir

Doğal sularda az miktarlarda bile olsa genellikle demir bulunur. Ancak demir konsantrasyonu çoğu hallerde 10 mg/l.yi geçmez.

Birçok kayanın ve toprağın bileşiminde yaygın olarak ve bol miktarda demir vardır. Volkanik kayaların ihtiva ettiği önemli minerallerden biri demirdir. (Anfibol $\text{Fe}_7(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}$, biotit, magnetit Fe_3O_4 , prit FeS_2 , piroksenler, nesosilikat) Bu bileşiklerinde demir genellikle iki değerli (ferro) olarak bulunur. Ancak üç değerli (ferri) olarak bulunduğu (magnetit gibi) bileşikleri de vardır.

kumtaşlarındaki yapıştırıcı unsurun en önemli kısmı, demir oksit, demir karbonat, demir hidroksit gibi demir bileşikleridir.

Demirin suda çözünürlüğü ve bulunuş şekli pH ve redoks potansiyeline bağlıdır. İndirgen şartlarda ferro demir olarak bulunurken ağır hava (oksijen) ile temasla bulunan sularda ferri demire dönüşerek (yükseltgenerek) çöker. Asidik sularda ise ferri demir de çözünmüş halde bulunabilir.

Yüzey sularında demir, çözünmüş halde bulunabileceği gibi, kolloidal halde süspansiyon partikülleri halinde veya organik kompleksler halinde de bulunabilir.

Sularda bulunan demir, yukarıda belirtilen demir minerallerinden gelebileceği gibi, su tesisatındaki demirli malzemelerden de gelebilir.

Demirli sular genellikle sağlığa zararlı değildir. Zaten insanın normal gelişmesi için günde 5-6 mg. demir alınması gerekir. Ancak demirli sular çocuklarda ve hassas mideli kimselerde mide ve bağırsak rahatsızlıklarına yolaçabilir. Ayrıca demir suyun tadını bozar. Litresinde 0,3 mg. demir bulunan sular bulanık ve sarımsak renkte görünür. Böyle sularda yıkanan çamaşırlarda küçük pas lekeleri oluşur.

Endüstride dokuma, boya, tutkal, cam, seramik, suni ipek fotoğraf malzemesi proseslerinde ve yıkama suyu olarak kullanılacak sularda demir bulunmamalıdır. Ayrıca kalorifer suları ve benzer kullanımlar için de 0,05 ppm den fazla demirli sular kullanılmamalıdır. (Bakınız bölüm:5)

Suda çözünmüş olarak bulunan demir iki şekilde kabuklanmaya yol açar.

1. Yükseltgen bir ortamda, menen hava oksijeni ile temasla bir anda ferro demir ferri demire yükseltgenerek suda çözünmeyen bileşikler halinde ($Fe(OH)_3$ veya Fe_2O_3) çöker. Bu çökelekler banyolar etrafında kırmil kırmızımsı renkte tortular oluşturarak tıkanıklara neden olur. (Demir-2 oksit siyah, demir 3 oksit pas rengindedir.) Bu olayda sudaki demir yavaş yavaş azalır ve gelebileceği gibi, koruyucu amaçla, demir malzemelerden de gelebilir. Bu şekilde oluşan kabuk, idarekotorik nitte çözülebilir. Ancak çözünen demirin tekniye çökmesini için pH 3 ün altında tutulmalıdır.

2. Yeraltısuyunda çok az demir varsa, suda demir bakterileri yaşar. Karbon bileşikleri ile beslenen bu bakteriler, demiri çözünmeyen oksitlerine dönüştürürler . Organizmaların ölmesi ve çürümesi sonucu oluşan yapışkan ve ince yapılı çamur, ortamdaki demir oksitleri ve diğer çözünmeyen mineral tuzları da tutarak hacimce büyüyerek filtre ve tesisatı tıkar.

Bu şekilde oluşan kabuklar asit kullanılarak çözülemez. Ancak klor ve polifosfat kullanılarak bu kabuklar parçalanabilir. Klor bakterileri öldürdüğü gibi, kuvvetli yükseltgen etkisi ile organik yapışkan çamuru da parçalar.

Karanlık, oksijensiz yerler, demir bakterilerinin gelişmesi için en uygun yerlerdir. Karbondioksit bulunması ortamı daha uygun bir hale getirir.

Tablo : 9 _ Demir için örnek su analiz sonuçları

	EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁼	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Fe ⁺³
1	550	7.4	1.80	0.21	1.90	1.70	0.0	3.40	1.83	0.36	0.96
2	590	7.4	1.23	0.11	3.18	1.69	0.0	5.01	0.08	1.15	0.50
3	4105	8.5	36.0	0.41	1.30	1.39	1.30	0.89	21.4	5.06	3.0
4	5500		37.8	0.01	11.8	6.06	0.0	27.5	27.9	0.1	18.0

Demir, mg/l ; diğer iyonlar mek/l. olarak verilmiştir.

(1) Develi-Sindelhöyük SK.16010 (2) Bursa-Çekirge ky. (3) Mürted-SK 5530 (4) Erzurum-Büyük Çermik

Yukarıda verilen analizlerden ilki Kayseri-Develi Sindelhöyük'de 16010 numaralı kuyuya aittir. Kuyu alüvyonda açılmış olup aglomera ve tüflerden beslenmektedir. Bu civardaki diğer kuyularda da 0-10 mg/l. arasında demir vardır. 10 mg/l.nin üzerinde demir bulunan kaynaklar "demirli kaynak" olarak adlandırılır. Bu tür kaynaklardan anemi tedavisinde "içme" olarak faydalanılır. Ayrıca nekahat devresindeki hastalar için faydalıdır.

Demirle birlikte karbonik asitli olanlar ise, kalp yetmezliği hallerinde "banyo" olarak tavsiye edilmektedir. Yukarıda verilen (4) numaralı analiz böyle bir suyu temsil etmekte olup, Erzurum Çermik kaynağına aittir. (sıcaklığı 40°C)

(3) numaralı analiz ise, Mürted ovasında Yılbant köyü 5530 numaralı sondaj kuyusunun suyunu temsil etmektedir. Kuyu sarnı kalker ve konglomeralardan su almaktadır.

Granit, gnays, mikasist ve gıst gibi silikatlı kayaların suları ile silisli kum ve kumtaşı, silisli alüvyonlar gibi silisli ve salt killi kayaların sularında nisbeten daha fazla demir bulunur. Çünkü böyle sularda karbondioksiti dengeleyecek bazı iyonlar az olduğundan pH düşüktür. Yukardaki örneklerden (1) ve (3) numaralı analizler buna uymaktadır.

Kalker ve dolomitik kaya sularında ise demir ya çok azdır veya hiç yoktur. Karbonlaşmış kayalardan (maden kömürü, turb, linyit vs.) çıkan sular çoğunlukla asidik olduğundan önemli miktarlarda demir taşıyabilirler.

Sondaj kuyularında su, temasta bulunduğu teçhiz boruları ve diğer demir malzemeden, çok az da olsa demir çözer. Su korozif özellikte ise daha fazla demir çözecektir. Bu bakımdan kuyuda, pompalama yapılır-madan önce beklemiş su normal yeraltısuyuna göre daha fazla demir taşır. Eğer demir analizi için su örneği alınacaksa kuyuda biraz pompalama yapıldıktan sonra alınmalıdır. Ayrıca su örneği çıkış borusunun tam ağız yerinden alınmalıdır. Zira hava ile temas eden sudaki demir, demir hidroksit şeklinde çökeleceğinden suyun demir konsantrasyonu düşer.

Demirli sular havalandırılmak suretiyle demir konsantrasyonu 0,1 mg/l ye kadar düşürülebilir.

1.6.II. Mangan

Sudaki etkileri demirinkine benzeyen mangan, kayalarda ve toprakta demirden çok daha az rastlanan bir elementtir. Kayaların bünyesine bir safsızlık elemanı olarak girmiştir. Volkanik kayalarda çok az bulunur. Silikatlarda bazen demirin yerine geçer.

Metamorfik ve tortul kütlelerde diğerlerine göre daha fazladır. Genellikle oksit ve hidroksit şeklinde bulunur. Yerkabuğunun 30 km.ye kadar olan kısmında % 0,085 mangan vardır.

Yerüstü ve baraj sularında 0,01-1,0 mg/l kadar bulunan mangan, denizlerde 0,70-16 mg/l.ye kadar bulunabilir. Çünkü tabiattaki mangan devrinin son durağı denizlerdir.

Doğal sularda bulunan mangan miktarı, suyun oksijene doygunluğuna bağlı olarak değişir. Tam havalanmış sularda mangan tamamen çökelir. Oksijensiz yeraltısularında ise bu miktar bir hayli fazladır. Genellikle asidik, oksijensiz sularda demirle birlikte mangan da bulunur.

Bazı bitki yapraklarında bulunan mangan bu bitkilerin çürümesi ile sulara geçer. Bu yüzden göl, baraj bataklık gibi organik maddesi bol sularda mangan bulunma ihtimali fazladır. (İğne şeklindeki bitki yapraklarında 1,90 g/kg, kara turp yaprağında 5,86 g/kg, ıspanak, pancar ve bögürtlende 0,035-0,10 g/kg mangan bulunur.)

Mangan sularda bulunduğu kadarı ile sıhhat için zararlı değildir. Ayrıca yetersizliği, gelişme ve kemik tegekkülünde eksikliklere yol açar. Kanda 0,15 mg/l kadar mangan olup akyuvar tegekkülünde önem taşır. Bütün bunlara rağmen iyi bir içme suyunda 0,1 mg/l den fazla mangan istenmez.

Sudaki manganın zararlı etkileri demirinkine benzemekle birlikte demirinkinden daha fazladır. Su tesisatında ve sayaçlarda MnO_2 şeklinde çökeltiyerek tesisatı tıkar ve çalışamaz hale getirir. İki değerli mangan özellikle az oksijenli yeraltısuyunda ise, yüzeye çıkıp oksijene doyunca dört değerli mangan'a yükseltgenerek çökelir. Kurum şeklinde, siyah bir kabuk oluşturur. Oluşan MnO_2 sudaki Mn^{+2} yi adsorplama özelliğine sahiptir. Böyle bir oluşum için, 0,5 mg/l mangan bile yeterlidir.

Manganlı sularla yıkanan çamaşırlar üzerinde küçük siyah lekeler oluşur. (MnO_2 lekeleri) Bu yüzden özellikle tekstil sanayiinde manganlı sular kullanılmaz. (Bakınız, bölüm 5.3 ve 5.4)

Tablo : 10 - Mangan için örnek su analiz sonuçları

EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Fe ⁺³	Mn ⁺²	CO ₂
1 5200	6.6	37,4	1,5	11.5	6.5	0.0	53.4	1.6	1.7	0.41	0.76	73
2 5400	6.7	54.4	0.8	3.3	4.9	0.0	56.0	1.2	6.0	0.50	0.05	56
3 2950	6.5	8.1	0.5	11.3	14.8	0.0	32.6	0.4	2.1	0.64	1.97	16
4 4100	8.4	36.0	0.4	1.3	1.4	1.3	9.9	21.4	5.1	3.0	0.0	0.0

(1) İnegöl çiftlik köyü maden suyu (2) İnegöl Kurşunlu köyü maden suyu

(3) Beyşehir sıtma Pınarı (4) Mürted ovası Yılbant köyü SK : 5330

Fe, Mn CO₂ sonuçları mg/l., diğer iyonlar mek/l. olarak verilmiştir.

Yukarıdaki analizlerden ilk üçünde sular asidik özelliktedir ve hiçbirini kireçtaşı suyu değildir. Bu durumda olan sulara demir ve mangan bulunma ihtimali fazladır. Ayrıca suda CO₂ bulunması ile bu ihtimal daha da artmaktadır. Dördüncü örnek ise bir sondaj kuyusuna ait olup, kuyu marn, killi marn ve konglomeralardan su almaktadır.

1.6.12. Alüminyum

Yerkabuğunda çok fazla bulunan alüminyuma doğal sulara nadiren rastlanır.

Feldispat, feldispatoid, mika gibi bazı mineral kayaların bileşiminde alüminyum vardır. Alüminyum bileşikleri suda hemen hiç çözünmezler. Bu yüzden normal sulara ancak 0-1 mg/l. arasında alüminyum bulunabilir. Alüminyum bileşiklerinden çok bulunan boksit suda 18°C de 1 mg/l. kadar çözünür.

pH 7 ye yakın sulara 1 mg/l.den daha fazla alüminyum bulunması halinde bu, iyonik alüminyum değil, muhtemelen 0,1 mikrondan küçük alüminyum hidroksit veya alümino silikat partikülleridir. Bu partiküller çok ince dokulu filtrelerden bile geçebilirler.

pH 4 ün altındaki sulara birkaç yüz mg/l.lık alüminyum konsantrasyonları görülebilir. Maden yataklarından drene olan sulara veya çok ender bazı kaynaklarda böyle durumlarla karşılaşmak mümkündür.

Aşağıdaki analizlerden ilk ikisi SEKA Kastamonu-Tagköprü tesisleri için hazırlanan hidrojeolojik etüt raporundan alınmıştır. İlk analiz Gökirmak akarsuyuna, ikinci analiz Gökirmak'ın beslediği aldyondan su alan bir kuyuya aittir. Üçüncü analiz ise İzmir-Dikili Kaplıcası'nın suyunu temsil etmektedir.

Tablo: II - Alüminyum için örnek su analiz sonuçları

EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	NO ₃ ⁻	Al ³⁺	SiO ₂
(1) 424	-	0.8	0.1	3.1	2.6	0.0	4.5	0.6	0.9	12	49	15
(2) 471	-	1.9	0.1	3.1	3.0	0.0	4.3	1.0	2.0	15	59	12
(3) 2030	6.6	31.6	0.3	2.2	0.9	0.0	23.2	2.7	9.4	0.2	22	73

NO₃⁻, Al³⁺, SiO₂ mg/l., diğer iyonlar mek/l. olarak verilmiştir.

1.6.13. Bor

Dev moleküllerden oluşmuş bir yarı-metal olan bor asitlerde çözünmez; bazlarda borat vermek üzere çözünür.

Az miktarlarda bile olsa genellikle sulara bor bulunur. Yerüstü sularında eser miktarlarda bulunan bor, yeraltısularında yüksek değerlere ulaşabilir.

Magmatik kayalarda yaygın olarak dağılmış bulunan turmalin en önemli bor kaynağıdır. Ancak turmalinin, yeraltısuyunun aktifliğine karşı direnci yüksektir. Ayrıca granitik kayalar ve pegmatitlerde de bor bulunur.

Volkanik gazlar içinde bor, ortoborik asit H₃BO₃ ve bor trifluorin BF₃ şeklinde bulunur. Bu gazlar düşük sıcaklıklarda bile uçucu oldukları için, volkanik arazi suları ve sıcak su kaynaklarında kısmen fazlaca bor bulunabilir.

Boraks (Na₂B₄O₇ · 10 H₂O) ve Colemanite (Ca₂B₆O₁₁ · 5 H₂O) doğada rastlanan diğer bor bileşikleridir.

Ayrıca bitki ve hayvan artıkları ile boratlı deterjan artıklarında az miktarda bor bulunur.

Okyanus sularında 4-5 mg/l. kadar bor bulunur.

Normal sularda rastlanan miktarlardaki borun insan sağlığı üzerinde zararlı bir etkisi yoktur. Öte yandan bor bitkiler için son derece gerekli bir elementtir. Ancak gereğinden fazlası da oldukça zehirlidir. Gerekli miktarı ile zehirli miktarı arasındaki sınır oldukça dar olduğundan bitkilerin bora karşı dirençleri bilinmelidir.

Genellikle 0,5 mg/l ye kadar olan bor bitkiler üzerinde birçok olumlu etki gösterir. (Kök beslenmesi, çiçek açması, meyve bağlaması, hücre bölünmesi gibi). Ancak bitki türüne bağlı olarak gereğinden fazla bor bulunması halinde yapraklarda bor birikmesi sonucu yarılmalara, olgunlaştırmadan sararıp solma ve dökülme, büyüme azlığı, verim düşüklüğü gibi etkiler ortaya çıkar. 3,5 mg/l. den fazla bor hemen bütün bitkiler için zehirleyicidir. Bitkilerin bora karşı dirençleri bölüm 4.3.9 Tablo:26 da verilmiştir.

Toprakta bor birikmesi genellikle sulardan kaynaklanır. Borun az bir kısmı, çözünmeyen bileşikleri halinde toprakta çöker, bir kısmı da toprak tarafından adsorplanır. Bitkilerin aldığı bor, toprak tarafından adsorplanan bordur. Toprağın periyodik ıslanıp kuruması, kalemiligin artması ve kireçleme bor adsorpsiyonunu artırır.

Tablo : 12_ Bor için örnek su analiz sonuçları

EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Bor
1) 2050	8.0	8.70	0.24	8.21	2.57	0.40	2.74	2.44	14.79	6.49
2) 1440	8.3	12.50	0.13	1.25	0.65	0.90	9.60	2.20	1.04	2.5
3) 3155	6.5	22.80	0.60	12.90		0.0	17.10	20.10	0.1	14
4) 500	8.6	0.89	0.12	4.70		1.0	3.04	0.16	1.51	9.0

Bor değerleri mg/l., diğer iyonlar mg/l. olarak verilmiştir.

Yukarıdaki analizlerden ilki Masançelebi demir yatağında açılan bir kuyu suyuna aittir. Aynı kuyu suyunda 2 mg/l.kadar kurgun ve 0.2 mg/l kadar arsenik tesbit edilmiştir.

İkinci analiz Mürted Ovasında bir sondaj kuyu suyuna, (SK.5263 Kazan köyü) üçüncü analiz ise Aydın Ortaklar'da (16042 numaralı) sondaj kuyusuna aittir. Ortaklar'daki kuyu suyunun sıcaklığı 31°C olup, borun fay kaynakları ile ilişkili olduğu kabul edilmiştir.

Yukarıda görülen son analiz bir akarsuyu (Simav Çayını) temsil etmektedir. Bu akarsu üzerinde borasit madeni işletmeleri bulunmakta ve artıklarını akarsuya boşaltmaktadır. Akarsuyun işletmelerden önceki bor konsantrasyonu 0,2-2,0 arasında değişirken artıkların karışmasından sonra bu değerler 2,0-12,6 arasında değişmektedir.

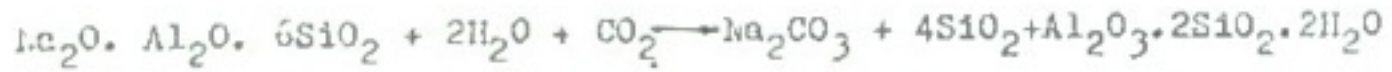
1.6.14. Silisyum

Silisyum da bor gibi dev moleküllerden oluşmuş bir yarımetaldir. Asitlerde çözünmez, bazlarda silikat vermek üzere çözünür.

Yerkabuğunda oksijenden sonra en bol bulunan element silisyumdur. Tabiatta SiO₂ ve bunun bileşikleri olan silikatlar şeklinde bulunur.

Yerkabuğundaki birçok taçın bünyesinde bulunan kuvara kristalli SiO₂ dir. Tabiatta nefes taşı ve kum olarak bol rastlanır. Suyu kısıtlı direnci fazladır. Ancak amorf şekilleri (akat, opal, kizelgur) suda kuvarstan daha fazla çözünürler, (Kuvara suda 25°C de 6, 84°C de 115, 100°C de 370 mg/l. çözünür.)

Sulardaki silisin kaynağı daha çok, metamorfik ve atmosferik olaylarla kimyasal parçalanmaya uğrayan silikatlardır.



Bu şekilde uzun yılların etkisi ile silikatlar parçalanarak kil oluşur ve silis açığa çıkar. Heydana gelen Na₂CO₃ ise suda çözünerek zamanla yıkanır. Genellikle yüksek silisli sularda karbonat da fazla olup pH yüksektir.

Aşağıdaki ilk analiz Mürted Ovasında 5331 numaralı sondaj kuyusuna, ikinci analiz ise, Denizli-Sarayköy-Kızıldere kaplıcasına aittir. Kaplıca suyundaki yüksek SiO₂ değeri suyun sıcaklığı (92°C ile ilgili) olmalıdır.

Tablo : 13_ Silisyum için örnek su analiz sonuçları

EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	SiO ₂
(1) 1700	8.4	13.20	0.21	1.35	1.15	2.00	8.85	3.79	1.68	47.5
(2) 5250	8.6	42.73	1.28	3.12	1.20	4.28	22.39	3.24	13.54	222.3

SiO₂ mg/l.,diğer iyonlar mek/l.birimi ile verilmiştir.

Doğal sularda çözünmüş olarak bulunan Silis miktarı genellikle 20-30 mg/l. civarındadır. Ancak bazı hallerde 100 mg/l.yi geçebilir.

Yüzeğe yakın deniz sularında silis miktarı çok düşük olup, çoğu zaman 1 mg/l.den azdır. Bunun sebebi, mevcut silisin deniz canlılarının kabuk iskeletininin oluşturulmasında tüketilmiş olmasıdır.

Silis suyun sertliğini etkilemez. İçme sularında insan fizyolojisi açısından zararlı bir etkisi de yoktur.

Sulardaki silis kabuklanma ve çökelek bırakma yönünden oldukça önemlidir. Genellikle kalsiyum ve magnezyum ve magnezyum silikatlar şeklinde oluşan silis kabuklarının temizlenmesi çok güçtür. Bu kabuklar kalsiyum çökmesinde olduğu gibi asitlerle temizlenemez.

Silis analizi yaptırmak üzere alınacak su örnekleri candan yapılmış kaplara konulmamalı, bu amaçla plastik şişe kullanılmalıdır.

1.6.15. Karbonat ve Bikarbonat

Suya alkalilik veren bu iyonlardan özellikle bikarbonat bütün doğal sularda bulunur. Karbonat ise ancak yüksek pH değerlerinde bikarbonatla birlikte görülür.

Sudaki bikarbonatın başlıca kaynağı havadaki karbondioksittir. Oda sıcaklığında bir hacim su, bir hacim CO₂ çözebilir. Hava ile temas eden bir suda mutlaka bikarbonat bulunacaktır. Bu yüzden yağmur suyunda bile 10-20 mg/l. bikarbonat vardır.

Kalsit, magnezit ve dolomit gibi karbonatlı kayalarla temas eden su, doygunluğa erişene kadar karbonat çözer. Suyun doygunluğunu ortamın sıcaklık, basınç, CO₂ miktarı gibi faktörler etkiler. Uygun ortamlarda su birkaç bin mg/l kadar bikarbonat çözebilir.

Kireçtaşı sularında başlıca anyon bikarbonattır. Laden sularında da klorürle birlikte bikarbonat hakim anyonlardır.

Sudaki karbonat ve bikarbonat iyonlarının birbirine oranı, suyun pH ve CO_2 değerleri ile ilgili olarak değişir. pH'nın 8.2'den küçük olması halinde suda sadece bikarbonat iyonu vardır.

İyi bir içme suyunda bikarbonat iyonu hakim anyon olmalıdır. Aslında tuzlu, jipsli ve bazı killi sahalar dışındaki bütün sahaların sularında bikarbonat hakim anyon durumundadır.

İçme sularında karbonat ve bikarbonat iyonları $>100 \text{ mg/l}$ den fazla değilse, ki bu miktar 41 PS° ne karşılıktır, fizyolojik yönden bir sakıncası yoktur.

Sulama açısından karbonat ve bikarbonat miktarını tek başına değil, diğer iyonların miktarı ile birarada nisbi olarak incelemek gerekir. Normal bir sulama suyunda $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ miktarına eşdeğer miktarda $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ bulunmalıdır. Eğer $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ miktarı daha fazla ise bu durum sulama açısından sakıncalıdır. Bu durumda suda alkali metal karbonatları var demektir ve böyle sular toprakta sodikleşme dediğimiz çoraklaşmaya yolaçar. Genellikle mek/l. olarak, RSC veya artıksal sodyum karbonat denilen $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$ değeri 2,5'den fazla ise böyle sular sulama için uygun sayılmaz. Bu konuda sulama suyu kriterleri bölümünde daha ayrıntılı bilgi verilmiştir. (Bölüm : 4.3.6)

Sudaki karbonatla birlikte yeterince kalsiyum veya magnezyum varsa, pH, CO_2 , sıcaklık ve basınç gibi değişkenlerin belirleyeceği denge şartlarına göre CaCO_3 veya MgCO_3 çökmesi görülebilir. Bu durum topraktaki kalsiyum miktarını artırarak sodyum tehlikesini azaltır. Ancak suda çok fazla karbonat bulunması bitkilerde demir noksanlığına yolaçar.

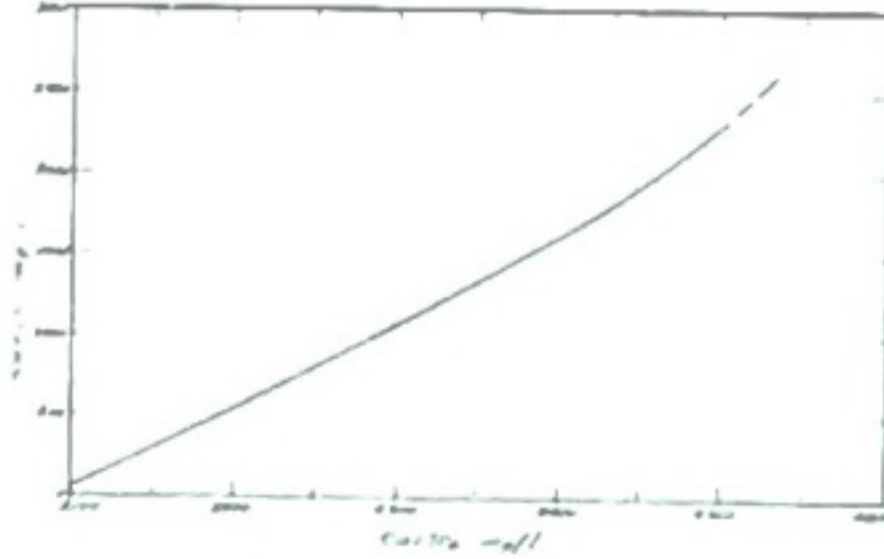
1.6.16. Sülfat

İki değerli bir anyon olan sülfat bütün doğal sularda az veya çok bulunur.

Yeraltısuyunda bulunan sülfatın başlıca kaynağı jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve anhidrit (CaSO_4) dir. Ayrıca piritin oksidasyonu ile de sülfat tegekkül edebilir.

Jips suda oldukça çok çözünen bir maddedir. Soğuk suda 2000 mg/l ye kadar çözünür. Bu yüzden sulardaki sülfatın en önemli kaynağı jipstir.

Bol miktarda jips çözülmüş sulara kalsiyum konsantrasyonu yetersizliği için bir miktar karbonat çökebilir. Dolayısı ile kısmen fazla sülfatlı sulara normalden daha az karbonat bulunur. Ayrıca çözülmüş olan NaCl de jipsin çözünürlüğünü artırır. Şekil : 8



Şekil 8. NaCl çözülmüş jipsin çözünürlüğü, 20°C ve 1 atm basınçta.

Zilli zeminlerde görülen jipsli seviyelerin dağılımı genellikle heterojen bir yapı gösterir. Kısa aralıklarda büyük değişimler görülür. Yeryüzünden itibaren fazla derin olmayan (50-60 m.) seviyelerde, yağış sebebi ile sülfatlar büyük oranda yıkanmıştır. Ancak kurak bölgelerde yeryüzüne yakın bu derinlikteki zeminlerde bile sülfat konsantrasyonu fazladır.

Sular kalsit ile çabucak dengeye geldiği ve belli miktardan bağla çözümediği halde, jips ile kolayca dengeye ulaşamaz ve fazla miktarda sülfat çözülebilirler. Bu yüzden, hakim anyonu sülfat olan sular genellikle le oranda soluma sularıdır.

Sulardaki sülfat miktarı başlıca içme, sulama ve betona etkiyi yüzünden inşaat açısından önemlidir.

Çeşitli ülkelerin içmesuyu standartlarında sülfat için çok değişik limitler verilmiştir. Bunun sebebi sülfatin gösterdiği fizyolojik etkilerin alışkanlıkla ilgili olmasıdır. 200 mg/l.den fazla sülfatlı sular ilk anda müshil etkiyi gösterirlerse de, alışkanlıkla bu etki kaybolmaktadır. Türk Standartlarında içme suyu için 200 mg/l.lik sülfat değeri kabul edilmiştir.

Bitki beslenmesinde sülfat gereklidir. Sülfat ve nitrat iyonları bitkiler tarafından indirgenerek protein oluşturmakta kullanılır. Toprak için de sülfat iyonu tuzluluğu artırıcı etkisi dışında zararlı değildir. Bununla birlikte 1000 mg/l. ve daha fazla sülfatlı sular bitkilerin kalsiyum alımını azalttığı için, sodyum alımını artırarak sodyum zehirlenmesine yolaçmaktadır.

Fazla sülfatlı suların beton ile teması sonucunda, betonla sülfat reaksiyona girerek sülfat korozyonu denilen olay meydana gelmektedir. Bu olay betonun dağılmasına ve dökülmesine yolaçtığı için son derece önemlidir.

Genellikle sülfat miktarı 150 mg/l.den fazla ise su az korozif, 1000 mg/l.den fazla ise çok korozif kabul edilmektedir.

Alman normlarında (DIN 4030, DIN 1045E) yeraltısuyunda 330 mg/l.de daha yüksek SO_3 bulunması halinde sülfata dayanıklı çimento kullanılması tavsiye edilmektedir. (Bakanız, bölüm 5.11.)

Bir suda bulunan sülfat miktarı diğer iyonlara göre çok az ise, böyle bir suda sülfat indirgenmesi olduğu sonucu çıkarılabilir. Sülfür kokusu varsa ve kısmen CO_2 fazla ise sülfat indirgenmesi çok kuvvetle muhtemeldir.

Sülfat indirgenmesi, sülfatın çeşitli mikroorganizmaların etkisi ile bozunması ve sülfürlere dönüşmesidir. Böyle sularda sülfür kokusu yanında kısmen daha yüksek CO_2 görülür. Bu olay bölüm 6.3 de, suyun kimyasal bileşimini değiştiren olaylar başlığı altında daha ayrıntılı anlatılacaktır.

Tablo : 14 - Sülfat için örnek su analiz sonuçları

EC	pH	Na^+	K^+	Ca^{+2} + Mg^{+2}	$CO_3^{=}$	HCO_3^{-}	Cl^{-}	$SO_4^{=}$
1)1750	7.8	1.0	0.1	18.40	0.0	1.80	0.70	16.9
2) 420	7.8	0.84	0.07	4.40	0.0	2.70	0.36	2.25
3)3200	8.0	0.39	0.22	30.10	0.0	1.70	0.70	23.81

İyonlar için analiz sonuçları mek./l.olarak verilmiştir.

Yukarıdaki analizlerden ilki kurak bir bölge olan Ulaş Ovasında Oligomiosenden akan bir akarsuya aittir. Görüldüğü gibi hakim anyon sülfat olup bikarbonat miktarı oldukça düşüktür. Saha kurak olduğu için sülfat yıkanmamış ve akarsu uzun yolculuğu boyunca jips çözerek yüksek sülfat konsantrasyonu ortaya çıkmıştır. Daha önce anlatıldığı gibi su kalsite çabucak doyduğu halde sülfat hemen doymamakta, ayrıca fazlaca çözünen jips yüzünden karbonat çökmesi görülmektedir. Bu suda da karbonat oldukça düşüktür.

Tablodaki 3. analiz Sivas-Tonus Ovasında gene Oligomiosenden çıkan bir kaynak suyuna aittir. Aşağı yukarı burada da aynı özellikler göze çarpmaktadır. Her iki su da ortanın üstünde tuzlu olup, taze sular değildir.

2. analiz gene bir kaynak suyuna aittir. Sivas-Tonus Ovasında ofiolitlerden boğalan bu kaynak suyunda sülfat yüksek ise de bikarbonat halen en fazla anyon durumundadır. Klorür miktarının da düşük olması, bu suyun yağışları takiben kısa bir yol aldıktan sonra kaynak şeklinde bağaldığı ve henüz çözebileceği kadar sülfat çözemediğini göstermektedir.

1.6.17. Klorür

Halojen grubu elementlerinden olan klorür bütün doğal sularda bulunur.

Yağmur suyunda denizden uzaklığa ve çevre şartlarına göre 1-8 mg/l arasında değişen miktarlarda klorür vardır. (Bakınız, Tablo:3 ve 4) Denizde çözünmüş tuzlar, buharlaşma sırasında askıda olarak havaya taşınır ve yağışla tekrar yeryüzüne döner.

Sulardaki klorürün en önemli kaynağı, sedimanter kütleler içindeki tuz yataklarıdır. Ayrıca Volkanik kayalardan feldispathoid, sodalite $\text{Na}_3\text{Cl}_2 (\text{AlSiO}_4)_6$ ve apatit $\text{Ca}_5 (\text{PO}_4)_3 \text{Cl}$ sudaki klorürün önemli kaynaklarıdır. Volkanik gazlardaki klorür miktarı volkanik kayalara göre daha fazladır.

Doğal sularda bulunan elementler içinde klorür, litosferdeki kayalarda en az bulunan element olmasına karşılık, klorür tuzları suda en kolay çözünen tuzlardır. Bu yüzden özellikle yağışlı bölgelerde yüzeydeki klorür büyük oranda yıkanmış ve son durağı olan denizlere taşınmıştır.

Bunun sonucu yüzey sularındaki klorür miktarı diğer iyonları göre daha düşüktür.

Kireçtaşı içindeki sulara klorür miktarı sabit denilebilecek seviyede kalır veya çok az artar. Bunun sebebi kalker içinde klorür verebilecek minerallerin bulunmayışıdır.

Genellikle klorürce zengin sulara sodyum da fazladır. Çünkü suya klorür veren başlıca klor bileşiği sodyum klorürdür. Ancak iyon değişimi ile, sodyumun kalsiyum ile yer değiştirdiği bazı hallerde, seyrek olarak kalsiyum klorür şeklinde de rastlanır.

Diğer iyonların hemen hepsi, yeraltısuyunun zemin içindeki hareketi sırasında bazen artış, bazen de azalış göstermesine karşılık klorür iyonu sadece artış gösterir. Sular taşıdıkları klorür iyonlarını terk edemedikleri için klorür bakımından gittikçe zenginleşirler. Bu özellik pratikte önemlidir. Çünkü ancak bu özelliği sayesinde klorür iyonu yeraltısuyu izlemelerinde doğal bir izleyici olarak kullanılabilir. Aynı şekilde bir suya karışan daha taze suların varlığı anlaşılabilir. Yeraltısuyunun klorür konsantrasyonundaki zamana bağlı değişmeden, yeraltısuyunun beslenme alanına uzaklığı ve rezervuar hacmi hakkında fikir edinmek mümkündür. Bu tür hesaplar da klorür iyonunun yukarıda değinilen özelliği üzerine geliştirilmiştir.

Deniz ve tuzlu göl sularından sonra klorürce en zengin sular maden sularıdır. (Bakınız: Bölüm 7, Kaplıca ve Maden Suları)

İçme sularında klorür konsantrasyonu için üst limit 250 mg/l. olarak kabul edilmiştir ki, bu miktar klorür bulunan bir litre suyun vereceği tuz 0,5 g. dan daha azdır. Klorür değeri 1500 mg/l. yi bulan sulara tuzlu bir tad farkedilir ve içimi hoş olmaz.

Klorür konsantrasyonu sulama suları için önemli bir kriterdir. Sulama suyunda kabul edilebilen üst limit değeri 350 mg/l (10 mek/l) dir. Fazla klorürlü sular kullanıldığı zaman bu iyon bitki yapraklarında birikebilir. Klorür protoplazma tarafından absorbe edilmediği gibi, kimyasal olarak da bağlanmaz; bitkinin hücre özüne serbest olarak dopo edilir. Zamanla kuru yaprak ağırlığının % 1-2 kadar yükselebilir. Bu sebeple bitki yapraklarının kenarları kurumağa bağlar ve yapraklar düşer. Dal ve sürgünler hatta bütün bitki kuruyabilir.

Klorüre karşı en hassa bitki grubu narenciyedir.

1.5.18. Florür

Florür gibi florür de halojenler grubundan bir elementtir. Ancak halojenlerden klorür dışında kalan iyot, brom ve florüre doğal sularda nadiren ve çok düşük konsantrasyonlarda rastlanır.

Sularda görülebilen florürün başlıca kaynağı, volkanik kayaların bileşiminde bulunan kalsiyum florürdür. Florit denilen kalsiyum florür 10°C deki suda 16 mg/l.ye kadar çözünür.

Apatit, mika, hornblend kriyolit ve turmalin gibi mineraller de florür ihtiva ederler. Volkanik gazlarda ise kayalara göre daha fazla florür bulunur.

Genellikle yeraltısularında florür varsa da miktarı çok çok azdır. Seyrek olarak bu miktar 1 mg/l.yi bulur. Ancak florca zengin mineraller veya florlü volkanik gazlarla temas etmiş sularda bu miktar 20 mg/l.yi geçebilir.

İçme sularındaki florürün etkisi konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. 0,5 ile 1,0 mg/l. arasındaki değerlerde diğ. çürümelerini önlediği bilinmektedir. Hatta bazı ülkelerde içme sularına bu amaçla florür verilmektedir. Ancak 2 mg/l yi geçen florür, diğ. minerallerinde koyu sarı, kahverengi lekeler oluşturarak, zamanla ağız ve kırılganlığa yolaçmaktadır. Florür miktarı 5 mg/l.yi geçerse kemik sertleşmesine, 50 mg/l.yi geçince de büyümede gerilemeye ve böbrek rahatsızlıklarına sebep olmaktadır.

Ülkemizde florür analizi bulunan suların pekçoğunda 1 mg/l.den küçük değerler görülmüştür. Ancak bazı sularda, özellikle Doğuakdeniz civarı sularında yüksek florür değerlerine rastlanmıştır. Bazı değerler şöyledir.

Doğubayazıt içme suyu terfi merkezi	:	11.70 mg/l.
Doğubayazıt Givernik Kaynağı	:	12.50 "
Eolu Büyük Kaplıca	:	2.10 "
Sarayköy-Tekkeköyü(Denizli)	:	14.00 "
Fursa kükürtlü Hamamı	:	2.80 "
Kızıldere (Denizli-Sarayköyü)	:	19.00 "

1.6.19. Amonyak, Nitrit ve Nitrat

Azotun bu üç şekli, su içerisindeki organik madde miktarının dolaylı ölçümleridir. Kirlenmenin bir ölçüsü olarak değerlendirmek amacı ile tayin edilirler. Azotlu bileşikler genellikle aşağıdaki sıraya göre nitratlara dönüşürler.

Organik azot $\xrightarrow{\text{çürüme}}$ serbest amonyak $\xrightarrow{O_2}$ Nitritler $\xrightarrow{O_2}$ Nitratlar. Meydana gelen nitratlar bitkiler tarafından alınarak bitkisel protein'e dönüştürülür. İnsan ve hayvanlar tarafından gıda olarak alınan bitkisel protein hayvansal proteine dönüşür. Böylece bu azot çevrimi devam eder.

Bir suda amonyak bulunması genellikle yeni bir kirlenmeyi gösterir. Bu bakımdan düşük miktarlarda bile olsa amonyak bulunan suların kirliliğinden şüphelenmelidir.

Nitrit iyonunun varlığı ortamda aktif bir biyolojik olayın işaretidir. Çok düşük değerlerde bulunsa bile, kirlenmenin başladığını ve biyolojik olayların sürdüğünü belirtir.

Nitrat, organik azotun en son oksidasyon ürünüdür. İçme sularında 5-10 mg/l. nitrat bulunması halinde kirlenmeden şüphelenmelidir. Bununla birlikte bir suda amonyak veya nitrat bulunması, mutlaka kirlilik gösterir şekilde bir kayıt yoktur. Bunların varlığı zararlı kirlilik için yeterli şart değildir. Ancak bakteriyolojik analiz yapılması gereği için uyarı, bir ölçüdür. Suya aynı kaynaktan zararlı bakterilerin de gelebileceğinin göstergesidir.

Genellikle yeraltısuyundaki nitratın, suyun geçtiği jeolojik formasyonlarla bir ilgisi yoktur. Fakat çok seyrek olarak bazı yeraltısularında, suyun temas ettiği nitratlı kayaç ve minerallerden gelen nitrata da rastlanmaktadır.

Azot toprağa bitki artıklarından, azotlu gübrelerden, hayvan dışkısından kanalizasyon ve sanayi atıklarından geçmektedir. Bakliyat cinsinden bazı bitkilerin köklerindeki azot bakterileri, hava azotunu alarak nitrata dönüştürmekte ve toprağa bırakmaktadırlar. (Bakınız: Bölüm 8.1. Azot Kirlenmesi)

45 mg/l.den fazla nitratlı sular, süt çocuklarında kötürümlük ve hazsizliğe yolaçan Cyanosis hastalığı yapar. (45 mg/l.nitrat, 10 mg/l. azota eşdeğerdir.) Bu miktar büyükler için zararlı değildir.

Suyun nitratına gidermek için demineralize edilmesi veya damıtılması gerekir.

Fazla nitrat bulunan bir suyun yüzeyden kirlenip kirlenmediği konusunda emin olmak için suyun klorür konsantrasyonuna bakılmalıdır. Fazla miktarda nitrat ile birlikte gene fazla miktarda klorür bulunması, bir suyun lağım ve kanalizasyon ayaklarından sızma ile kirlenmiş olduğunun en kuvvetli belirtisidir.

Azot bileşikler, özellikle nitrat bitkiler için son derece gereklidir. Çoğu zaman, ihtiyaca göre suya veya toprağa gübre olarak ilave edilir. Toprağa gübre olarak verilen üç elementin (Azot, potasyum ve fosfor) en süratli ve etkili olanı azottur. Bitkilerin yeşil kısımlarının gelişmesinde, tahılların tanelerinin dolgun olmasında ve protein tegekkülünde azot esastır. Ayrıca potasyum, fosfor ve diğer besin maddelerinin kullanılmasında regülatör vasıfesi görür.

Azot yağmur ve kar halindeki yağışlarla da, amonyak ve nitrat şeklinde toprağa ve suya karışır. Bu yoldan toprağa taşınan azot miktarı mevsimlere ve bölgelere göre değişir. Ortalama yıllık yağış 500-600 mm. olan bir bölgenin amonyak ve nitrat şeklinde kazandığı azot yılda dekar başına 500-1000 gram kadardır. Bu şekilde toprağa taşınan azot bitkiler tarafından hemen kullanılabilir. Bu yüzden, bitkilerin gelişme dönemindeki yağışlar bitki için gübreli su gibidir. İnsan yağmurlarının bereketine inanan halkımızın bir tecrübesi dille getirildiği açıktır.

1.6.20. Kükürt ve Hidrojen Sülfür

Sularda kükürt sülfürler halinde bulunur. Genellikle hidrojen sülfür (H_2S), demir sülfür (FeS , prit) ve yüksek pH larda sodyum sülfür (Na_2S) şeklinde rastlanır.

H_2S normal şartlarda gaz halindedir. Çürük yumurta kokusunda zehirli bir gazdır. Sudaki çözünürlüğü az olduğundan fazla miktarlarda bulunmaz. Suyu hafif asidik özellik verdiğinden korozifliğini artırır.

Yeraltısuyundaki sülfürlerin esas kaynağı sülfatlardır. Özellikle oksijensiz ve fazla sülfatlı sularda gelişen sülfat bakterileri sülfatları H_2S e çevirir. Böylece oluşan H_2S demir borularda, demiri demir sülfüre çevirir. Meydana gelen demir sülfür boru içinde çökerek boruların tıkanmasına yolaçar.



Demir borulardaki tıkanmaların başlıca sebebi demir ve sülfat bakterileridir.

Tablo : 15-de H_2S analizi yapılmış çeşitli kaplıca sularının kimyasal analiz sonuçları verilmiştir. Normal sularda, buradaki kadar fazla H_2S 'e ender rastlanır. Bazı kaplıca sularında ise 20-25 mg/l. sülfür görülebilir.

Tablo : 15- Hidrojen Sülfür için Örnek Su Analiz Sonuçları

EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	H ₂ S
(1)1600	6.3	2.01	0.39	17.72	4.63	0.0	14.36	0.31	10.0	0.02
(2)1340	6.4	7.30	0.66	5.81	0.52	0.0	8.74	0.34	5.10	1.13
(3)4700	7.4	39.10	2.66	0.67	0.31	0.0	20.00	2.61	21.04	4.41

H_2S sonuçları mg/l. iyonlar mek/l. olarak verilmiştir.

(1) Bolu-Büyük Kaplıca (2) Bursa-Kükürtlü Hamam (3) Denizli-Sarayköy

1.6.21. Organik Kirlilik

Organik kirlenme geniş bir sahayı kapsar. Proteinler, yağlar, karbonhidratlar, lağım ve atık sulardaki organik maddeler, reçineler, deterjanlar ve diğer organik maddelerden gelen her türlü kirlilik bu başlık altında toplanır.

Proteinler, insan, hayvan ve bitkilerde bulunan yüksek moleküllü, azotlu organik bileşiklerdir. Proteinlerin hepsinde karbon, hidrojen ve azot bulunur. Ayrıca bir çoğunda fosfor ve kükürt de vardır.

Proteinler bazı bakterilerin ve mikroorganizmaların etkisi altında parçalanarak amino asitleri ve bazı kükürtlü, fosforlu, hidrojen sülfürlü organik bileşikler meydana getirirler. Bunların çoğu pis kokulu bileşiklerdir.

Yağlar ; bitkisel, hayvansal veya madensel kökenli olabilirler. Bitkisel ve hayvansal yağlar, yüksek karbonlu yağ asitlerinin gliserinle yaptığı esterlerdir. Çeşitli sebeplerle parçalanan bu yağlar pis kokulu bileşikler meydana getirirler. Bunlar daha çok endüstri ve kanalizasyon atıklarından yüzey sularına karışırlar.

Madeni yağlar genellikle fenol bileşiklerinin varlığı ile anlaşılar. Fuel-oil benzeri yağların tasfiyesi güçtür. Yüzey sularında su yüzeyini çok ince bir tabaka halinde kaplamakta, su ile oksijenin temasını önlemektedir. Ayrıca deniz ve kıyı kirlenmelerine yolaçmakta, suda yaşayan canlıları tehdit etmektedir.

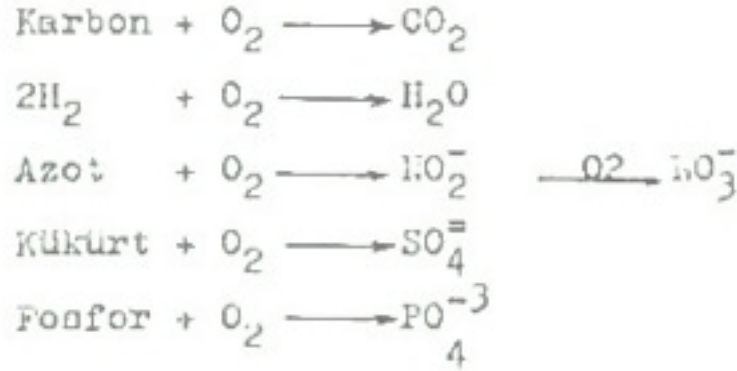
Karbonhidratlar karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan organik bileşiklerdir. Bitki ve hayvan bünyelerinde bulunurlar. Bu bileşikler de mikroorganizmalar etkisinde daha küçük organik maddelere parçalanarak kirlilik oluşturmurlar.

Sabun ve deterjanlar da organik bileşiklerdir. Lağımlar ve endüstri atıklarından sulara karışırlar. Özellikle deterjanların çok az miktarı bile köpük yapar ve suyun havalanmasına güçleştirir. Bitki ve hayvanlar için zehirleyicidir. İçme sularında deterjanlar için 0,5 mg/l. müsaade edilebilen en yüksek değerdir. (Bakınız, bölüm : 8.3 Deterjan kirlenmesi)

Sayılan bu organik maddeler dışında, katranlar, boyalar, mum ve lastik türünden bileşikler ile daha birçok organik kökenli kirlenici sulara bulunabilir.

Sularda yeterince oksijen ve biyolojik faaliyet varsa, birçok organik madde tamamen parçalanarak nisbeten zararsız, kararlı ve kokuşuz ürünlere dönüşür. Özellikle nehirlerde bu olay daha hızlıdır. Aşırı ve sürekli kirlilik yoksa, nehir sularının organik kirliliği "self purification" denilen doğal temizlenme ile ortadan kalkmaktadır.

Oksijenli ortamda bu organik bileşiklerinin uğradığı oksidasyon reaksiyonları ile meydana gelen ürünler şöyledir:



Organik madde ile fazla kirlenmiş bir akarsuda veya gölde, oksidasyon reaksiyonları sebebi ile oksijen sürekli harcandığı için oksijen miktarı kritik seviyenin altına düşebilir. Bu durum cüda yaşayan canlıların ölümüne yolaçar. Birçok canlı, özellikle balıklar için kritik oksijen miktarı 5 mg/l.dir.

Organik madde tayininde, sudaki organik madde miktarını doğrudan ölçmek yerine, mevcut organik maddeleri okside edebilmek için gereken oksijen miktarı (= Biyolojik oksijen miktarı) ölçülür. Kullanılan oksijen miktarı, organik madde miktarının bir fonksiyonudur. (Proteinler gibi bazı azotlu organik maddeler bu işlemle okside olmadıkları için bu şekilde tayin edilemezler.) Deneyde sarfedilen oksijen miktarı 3,5 mg/.den fazla olduğu zaman, suyun bakteriyolojik analizi yapılması gerekir. Bu miktar organik maddenin varlığı, suda aynı kaynaktan gelme zararlı bakterilerin bulunabileceğine bir uyarı niteliği taşır.

1.6.22. Karbon Dioksit

Penksiz, kokusuz ve normal şartlarda gaz şeklinde bir bileşiktir. Oda sıcaklığında birim hacim suda, birim hacim CO_2 çözünür. Canlıların solunumunda yanma ürünü olan karbondioksit zehirli değildir. Ancak havadaki oranı artınca solunumu güçleştirir.

Karbondioksitli sular bağırsak ve mide salgılarını artırır, midenin boşalma süresini kısaltır, kana karışmayı çabuklaştırır.

Bulunduğu gibi havada % 0.03 oranında CO_2 vardır. (Solunum gazında bu oran % 4 dır.) Havadaki CO_2 suda çözünerek $18^\circ C$ de ancak 0.546 mg/l.lik bir konsantrasyona ulaşabilir. Yağmur suyundaki az miktarda CO_2 nin kaynağı budur.

Yeraltı sularında ise CO_2 miktarı genellikle bu değerin çok üzerindedir. Buna göre, yeraltı suyundaki CO_2 başka kaynaklardan gelmektedir. Bu kaynakların en önemlileri şunlardır.

a. Bitki köklerinin solunumu : Toprak içinde yukarıdan aşağıya azalan ve bitki örtüsü ile tarım metotlarına göre değişen miktarlarda CO_2 bulunur. Mesela buğdayın kök sistemi, bitkisel yağantısı boyunca hektar başına ortalama olarak 6000 kg CO_2 bırakır. (H.Schoeller-Les Eaux Souterraines) yeraltına süzülen sular süzülüşleri esnasında toprak içinde temas ettikleri bu CO_2 den bir miktar çözümlenerek bünyelerine alırlar.

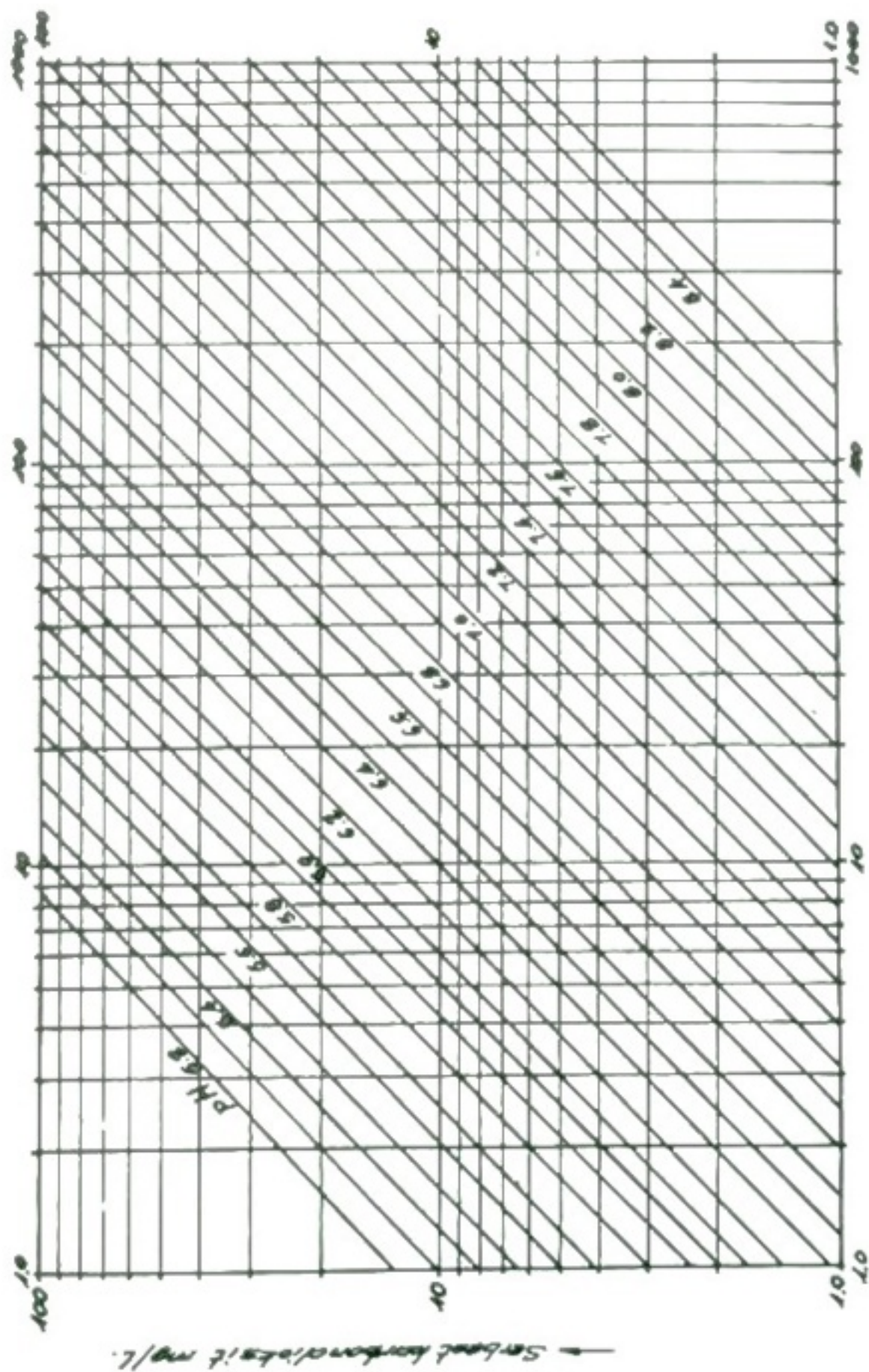
b. Mantarlar ve Bakteriler gibi bitkisel organizmaların solunumu : Bu olay sonucunda mantarlar ve bakteriler 24 saatte, kendi ağırlıklarının birkaç katı CO_2 üretirler.

c. Oksitleme olayları : Sulfürlerin oksitlemesi ile oluşan asitler, karbonatlara, kalker ve dolomitlere etkiyerek CO_2 üretirler.

Topraktaki CO_2 üretimi bitki örtüsüne, tarım metotlarına, derinliğe iklime (rakıma) göre değişir.

Yeraltı sularında asitliğin ve düşük pH değerlerinin en önemli sebebi karbondioksittir. Karbondioksit suda kolay çözünür. Çözünürlüğü basınçla doğru, sıcaklık ile ters orantılıdır.

Suyun pH'sı toplam alkaliliği ve CO_2 miktarı biribirinin fonksiyonudur. Bunlardan ikisi belli ise üçüncü bulunabilir. Aralarındaki ilgi grafikler halinde verilmiştir. Şekil : 9



Satz 1, 9 - Serbest karbonatalkalität bikarbonatalkalität Nomogramm

Suyun üzerindeki basınç ve sıcaklık değişince CO_2 ile bikarbonat arasındaki denge bozulur. Basınç azalması veya sıcaklığın artışı ile bir kısım CO_2 açığa çıkar. Bu durum yeraltısularında önemlidir. Bir kuyuda pompalama yapıldığı zaman basınç düşeceği için CO_2 in bir kısmı açığa çıkar. Böyle bir kuyudan alınan suda tayin edilen CO_2 miktarı, akifer içindeki suyunkinden farklı bulunur. Bu yüzden CO_2 analizi yaptırmak üzere su örnekleri alırken, vanaları mümkün olduğu kadar düşük debide tutmak ve şişelerin ağzını çok sıkı kapatmak gereklidir. En iyisi CO_2 ve pH_1 su noktasında ölçmektir. Bu husus bilhassa korozyon çalışmalarında önemlidir.

Sudaki CO_2 değişik şekillerde bulunabilir. Bir kısım CO_2 bikarbonat şeklindedir, ki buna bağlı CO_2 denir. Toprak alkali metallerin bikarbonatları suya yalnız bağlarına dayanıklı değildirler. Ancak basınç ve sıcaklığa bağlı olarak belirli bir miktarda serbest CO_2 bulunursa dayanıklı olabilirler. Durum aşağıdaki denge reaksiyonunda açıkça görülmektedir.



Sadece bu dengenin sağlanması için gereken CO_2 miktarına serbest CO_2 denir. Eğer bu miktardan fazla CO_2 varsa, yeni bir dengenin kurulması için bir miktar CaCO_3 çözülerek $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ haline geçecektir. Buna göre, yukarıdaki denge için gerekenden fazla CO_2 bulunması halinde su korozif özellik kazanmaktadır. Durum şematik olarak şöyledir.

Toplam Karbondioksit :

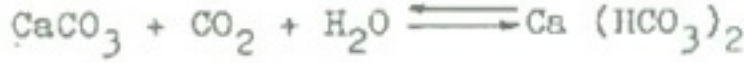
a. Bağılı CO_2 (Geçici sertlik)

b. Serbest CO_2

1. Denge için gerekli CO_2

2. Korozif CO_2

Korozif CO_2 içeren su, demir, kalker veya dolomiti, bikarbonatları halinde çözer, Şekil : 7



Dengenin kurulduğu bir suda herhangi bir şekilde denge bozulursa (CO_2 ayrılırsa) karbonatları halinde kalsiyum, magnezyum veya demir çökelir. Bu çökelekler borularda bir tabaka oluşturarak birikirler. Bu tabaka borunun daha fazla korozyona uğramasını engeller. Fakat olay sürekli devam ederse, özellikle filtreli borularda oluşan kabuk, filtrelerin tıkanmasına yolaçar. Bundan dolayı, suda geçici sertlik veren maddelerle denge için gerekli miktarda CO_2 bulunması, korozyon ve kabuklanma açısından nötr durum oluşturduğu için istenen bir olaydır.

1.6.23. Çözünmüş Oksijen

Bütün doğal sularda az çok çözünmüş oksijen bulunur. Sudaki çözünmüş oksijen miktarı, suyun sıcaklık, basınç ve toplam tuz miktarı ile atmosferdeki oksijenin kısmi basıncının bir fonksiyonudur.

Yeterince oksijen içermeyen suların kokusu ve lezzeti hoş değildir. İyi bir içme suyunda oksijen miktarı doyma noktasına yakın veya eşit olmalıdır. Balıkların yaşayabilmesi için de suda yeterince çözünmüş oksijen bulunmalıdır.

Sulardaki çözünmüş oksijenin kaynağı havadaki oksijendir. Havada % 21 oksijen, % 79 azot vardır. Oksijenin çözünürlüğü aynı şartlarda azotun çözünürlüğünün iki katıdır. Bu durum su canlıları için çok önemlidir.

Deniz seviyesinde ve değişik sıcaklıklarda mg/l olarak oksijenin suda çözünürlüğü şöyledir.

Tablo : 16- Oksijenin Sudaki Çözünürlüğü (Deniz Seviyesinde)

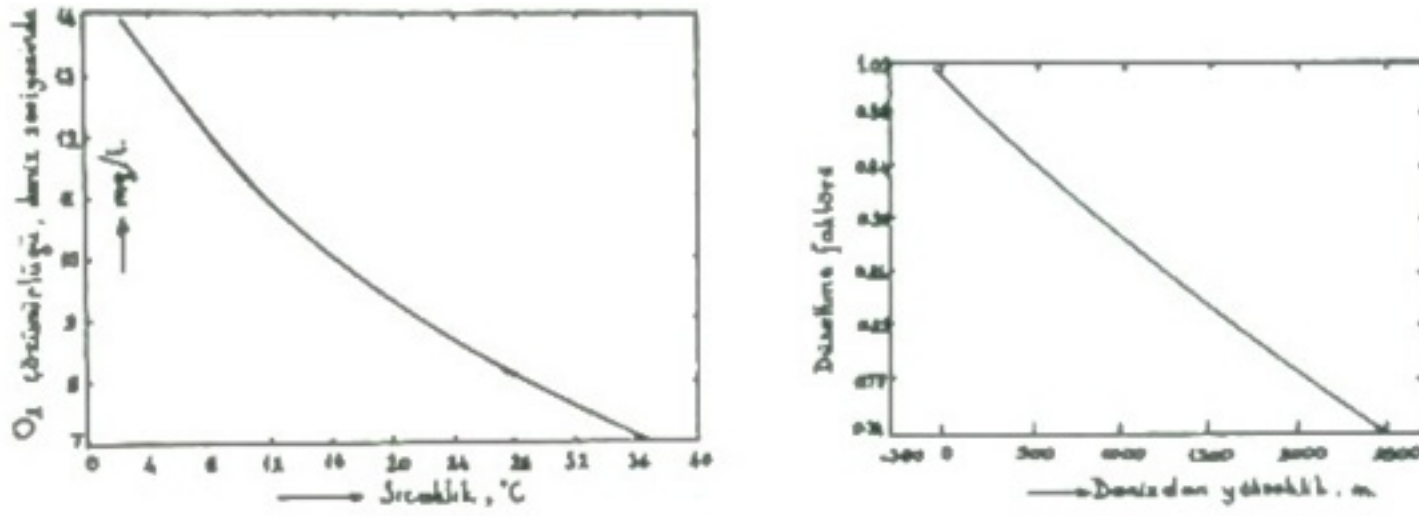
Sıcaklık °C	Çözünmüş Oksijen, mg/l.	Sıcaklık °C	Çözünmüş Oksijen, mg/l.
0	14.66	15	10.15
1	14.23	16	9.95
2	13.84	17	9.74
3	13.48	18	9.54
4	13.13	19	9.35
5	12.80	20	9.17
6	12.48	21	8.99
7	12.17	22	8.83
8	11.87	23	8.68
9	11.99	24	8.93
10	11.33	25	8.22
11	11.08	26	8.07
12	10.83	27	7.92
13	10.60	28	7.77
14	10.37	29	7.63

Bu tablodan faydalanılarak herhangi bir yerdeki su için oksijene doyma konsantrasyonu şöyle bulunur :

a. Suyun sıcaklığı ölçülür ve bu sıcaklıkta deniz seviyesindeki oksijenin çözünürlüğü tablodan okunur. Deniz seviyesinden her 1000 m. yükseklik için bu değerin % 11 i. kendisinden çıkarılır.

b. Her 1000 mg/l. çözünmüş madde için sonucun % 1 i. çıkarılır. Böylece % 2 lik bir hata ile çözünmüş oksijen miktarı bulunabilir. Ayrıca şekil 9/A da verilen grafikler kullanılarak da bir sudaki çözünmüş oksijen hesaplanabilir.

Oksijen yükseltgen bir element olduğu için fazlaca bulunması suyun aktifliğini artırır, korozyon reaksiyonlarını hızlandırır. Gene aynı özelliği sayesinde sulardaki organik maddeleri yükseltiyerek suların doğal temizlenmelerini sağlar.



Şekil : 2/A - Sıcaklığın fonksiyonu olarak, oksijenin deniz seviyesindeki çözünürlüğü ve denizden yüksekliğe göre düzeltilme faktörleri.

1.6.24. Nadir Elementler (Arsenik, Selenyum, Bakır, Çinko, Kurşun, Krom)

Bu başlık altında, doğal sulara çok seyrek rastlanan elementlerin kaynakları ve suya etkileri anlatılacaktır.

a. Arsenik ve Selenyum : Son derece zehirleyici olan bu elementler için, içmesuyu standartlarında müsaade edilebilen maksimum değer 0.05 mg/l dir.

Bu elementler bazı sanayi atıkları, sebze ve meyve ilaçları gibi kaynaklardan sulara karışabilirler. Ayrıca arsenik zemindeki bazı bileşiklerinden de gelebilir. Arseniğin özellikle kükürtlü bileşiklerine kısmen daha sık rastlanır. Realgar As₂S₃, Auripigment As₂S₃, Arsenopyrite FeAsS gibi bileşiklerinden suya bir miktar arsenik geçebilir. Aşağıdaki analizlerde suya bu yoldan geçmiş bulunan arsenik görülmektedir.

Tablo : 17 Arsenik için Örnek Su Analiz Sonuçları

	EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	As ⁺⁺
(1)	1660	7.7	15.90	0.15	1.20	0.70	0.0	13.50	2.90	1.20	0.808
(2)	800	7.3	2.34	0.12	6.76		0.0	4.05	0.42	5.32	0.163
(3)	2300	6.6	23.82	2.58	2.33	0.85	0.0	26.80	1.27	1.53	0.350

As mg/l., diğer iyonlar mek/l. olarak verilmiştir.

(1) Numaralı analiz, Mürted Ovasında 15518 numaralı sondaj kuyusu suyuna aittir. Aynı ovada birkaç kuyuda daha 0.3 ile 0.8 mg/l. arasında değişen miktarlarda arsenik görülmüştür.

(2) Numaralı analiz ise Hasançelebi Demir yatağı sahasında açılan Ha-109 numaralı kuyuya aittir. Bu kuyu suyunda demir, bor ve kurşun da bulunmuştur.

(3) Numaralı analiz İzmir-Bergama-Paşa alıcısı kaynağına aittir.

b. Bakır ve Çinko: Doğal sularda bulunmayan bu metaller suya endüstriyel atıklardan veya su tesisatından gelir ve sularda çok az bulunur. Genellikle çinkoya bakırdan daha sık ve daha fazla miktarlarda rastlanır. Ancak, gerek bakır, gerek çinko miktarı 1. mg/l.yi pek geçmez. Bu miktarlar ise, fizyolojik açıdan ziyade, suyun lezzetini bozdugu için istenmez. İçme suyu standartlarında bakır için 10 çinko için 5.0 mg/l. limit değerler olarak kabul edilmiştir. (Bakınız, bölüm : 3 İçme Suyu Kriterleri)

Bu maddeler suda yaşayan canlılar, özellikle balıklar için tehlikelidir; 0.15 mg/l. çinko balıkları öldürebilir.

c. Kurşun : Daha çok sülfür ve silikatları şeklinde rastlanan kurşun sularda pek bulunmaz. Bileşiklerinden kurşun sülfür PbS , suda $18^{\circ}C$ de ancak 0.8 mg/l. çözünür.

Kurşun yavaş yavaş zehirliyen bir maddedir. Kemik dokusunda birike- rek kurşun zehirlenmesine yolaçar. Suya genellikle endüstri atıklarından geçer. (patlayıcı madde imali, fotoğrafçılık, baskı, kılıç ve boya işlerinde kurşun bileşikleri kullanılır.)

Doğal sularda pek rastlanmamasına rağmen, Hasançelebi Demir madeni sahasına ait iki kuyu suyunda kurşun görülmüştür. (Analizler, Hıfzıssıha Enstitüsünde yapılmıştır.)

Tablo : 18 Kurşun İçin Örnek Su Analiz Sonuçları

EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺² +M ⁺²	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	B ⁺³	Pb ⁺²
800	7.3	2.34	0.12	6.76	0.0	4.05	0.42	5.32	1.73	1.90
2050	8.0	8.20	0.24	8.21	0.40	2.74	2.44	14.79	6.49	2.20

B ve Pb değerleri mg/l. diğer iyonlar mek/l.dir.

d. Krom: Doğal sulara bulunmayan krom endüstriyel atıklardan suya karışabilir. Ancak bazı kaplıca ve maden sularında çok az miktarlarda krom görülmektedir. Krom-6 bitkiler için son derece zararlıdır. İçme ve sulama sularında 0.05 mg/l.den fazlası istenmez ; daha fazlası zehirleyicidir.

Bu sayılan eser elementlerin dışında baryum, gümüş, siyanür, civa, nikel gibi elementler de çok ender olarak sulara bulunabilir. Bunlar daha çok endüstriyel atıklardan sulara karışırlar.

Tablo :19-Bakır Çinko ve Krom İçin Örnek Su Analiz Sonuçları

EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Cu ⁺²	Zn ⁺²	Cr ⁺³
(1) 1600	6.4	2.28	0.39	16.38	4.53	0.0	1214	0.31	11.04	0.07	0.007	0.003
(2) 2600	6.2	12.01	0.94	17.43	3.20	0.0	8.96	8.07	16.56	0.0	0.090	0.002
(3) 2830	6.7	31.60	0.29	2.19	0.87	0.0	23.20	2.68	9.38	0.0	0.600	0.0

Cu, Zn, Cr sonuçları mg/l., diğer iyonlar mek/l.dir.

(1) Bolu-Büyük kaplıca, Batı Ky. (2) Bursa-Armutlu-Hamam Ky.(3) İzmir-Dikili kaplıca

1.7. Suyun Bakteriyolojik Özellikleri

Su ile taşınan ve hastalık yapan bütün bakteriler genellikle sıcağıyla hayvanların, özellikle de insanların barsaklarında bulunur.

Suda bulunabilen tifo, dizanteri basili veya diğer patojen bakteri ve virüslerin doğrudan aranması fazla zaman alıcı ve zordur. Bu yüzden bakteriyolojik analizlerde bir patojen belirti aramak yerine, suyun bakteriyolojik durumu hakkında bilgi veren koliform bakterilerinin aranması daha uygun olmaktadır.

İnsan ve hayvan dışkılarındaki bakterilerin çoğu koliform bakterilerdir. Dışkı ile kirlenmiş sularda mutlaka koliform bakterileri bulunur. Çünkü euya bir tifo lu hastanın dışkısı karıştığı zaman, bu suda bulunabilen tifo basillerinden milyonlarca daha fazla koliform bakterisi bulunur. Buna göre, bir suda koliform bakteri bulunmadığı zaman suyun temiz olduğu anlaşılır. Koliform bakteri bulunduğu takdirde ise, bir tehlike işareti verilmiş demektir ve böyle sularda patojenik bakteriler aranmalıdır.

Koliform bakterileri, patojenik mikroplardan daha kolay, çabuk ve ucuz metotlarda tayin edilirler. Sularda yaşam süreleri, dezenfektan maddelere dirençleri de patojen olanlar ile aynı ayardadır. Bu özellikleri yüzünden hastalık mikropları yerine önce bunların aranması tercih edilmektedir.

Bütün bunlara karşılık, koliform bakteri analizi yapılacak su numuneleri, alındığından itibaren 24 saat içinde deneye sokulmalıdır. Ancak numune kabı buz içinde taşıdığı takdirde bu süre 30 saat olabilir.

Analizlerden önceki sürenin sınırlı olması, koliform bakteri miktarının zamana bağlı olarak azalması ve yok olması yüzündendir. Bu bakterilerin ölmesi başlıca şu faktörlere göre değişir.

- a. Suyun kimyasal bileşimi ve pH'sı
- b. Sıcaklık (0°C de taşımak en iyisidir.)
- c. Toplam bakteri sayısı
- d. Plakton miktarı
- e. Işık etkisi
- f. Asıl su kaynağının kendi etkisi

İnsanlar için sararsız olan, ancak koliform bakterisi yiyerek
suda yaşayan planktonlar zamanla su numunesindeki koliform bakterileri
tüketebilirler.

Türk Standartlarına göre, bir suyun içilebilir olması için 100 ml
suda hiç koliform bulunmamalıdır. Bu sayı diğer ülkelerde 0-5 arasında
değişir.

Koliform bakteri analizi için alınacak su numuneleri mutlaka steril
şişelere konulmalıdır. Bakteriyolojik analiz için su numunesi alma
yöntemleri Ek:3 de verilmiştir.

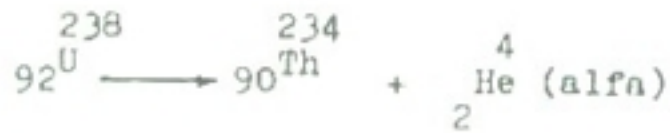
1.8. Suyun Radyoaktif Özellikleri

Radyoaktiflik, bir atom çekirdeğinin, tanecikler veya elektromagnetik ışınlar yayarak kendiliğinden parçalanmasıdır.

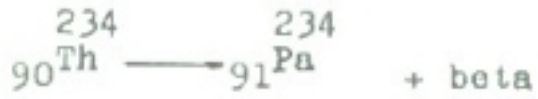
Radyoaktif elementler genellikle alfa ve beta parçacıkları, bazen de bu parçacıklarla birlikte gamma ışınları yayarlar.

Radyoaktif ışınlar, kararsız atom çekirdeklerinden fırlatılan elementler (Helyum), tanecikler (elektron) veya elektromagnetik ışınlar (gamma ışınları) olduğundan, çekirdek yapısının değişmesine yol açar.

Bir atomun çekirdeği alfa parçacığı yayınlayınca, atomik kütlesi dört birim, atom numarası iki birim eksilir. Böylece, kararsız atom çekirdeği yeni bir atom haline dönüşmüş olur,



Beta parçacığının yayınlanmasında ise, çekirdeğin atom numarası bir artar, kütlesi pratik olarak aynı kalır. Böylece ana atom ile ürün atom bir izobar çifti oluşturur.



Gamma radyasyonu, bir çekirdeği uyarılmış bir halden daha az uyarılmış (daha kararlı) bir hale getiren, X ışınlarına benzeyen elektromagnetik bir ışının yayılmasıdır.

Bir radyoaktif maddenin parçalanma (=bozunma) hızı, hemen bütün fiziksel ve kimyasal şartlardan bağımsız, sadece maddenin kendine has bir özelliktir.

Herhangi bir radyoaktif izotopun çok sayıda atomları gözönüne alındığında, bu atomlardan yarısının bozunmaya uğraması için geçmesi gereken zamana izotopun yarı ömrü denir. Yarı ömür, izotopun bozunma hızına bağlı olup, her radyoaktif çekirdek için sabittir.

Suyun radyoaktifliği, suda çözünmüş halde bir veya birkaç radyoaktif elementin bulunmasından ileri gelir. Ancak radyoaktif bir hidrojen izotopu olan trityum için durum biraz farklıdır. Trityum suya dışarıdan çözünerek gelemez ; doğal suyun bünyesinde bulunur. Suda, yaklaşık her 10^{18} normal hidrojen atomuna karşılık bir adet trityum (${}_1\text{H}^3$) izotopu vardır.

Sularda bulunabilen radyoaktif maddeler ile bunların izotopları ve yarı ömürleri aşağıda tablo halinde verilmiştir.

Tablo 20 Doğal sularda bulunabilen başlıca radyoaktif maddeler

Element	İzotopları	Yarı ömrü	Radyoakt. Tipi	Kaynağı
Uranyum	Uranyum-234	$2,69.10^9$ yıl	alfa	Toryum-234
	Uranyum-235	$7,07.10^8$ yıl	alfa	-
	Uranyum-238	$4,5.10^9$ yıl	alfa	-
Thorium	Toryum-234	24,1 gün	beta	Uranyum-238
	Toryum-230	$8,3.10^9$ yıl	alfa	Uranyum-234
Radyum	Radyum-228	6,7 yıl	beta	Toryum-232
	Radyum-226	1590 yıl	alfa	Toryum-230
	Radyum-224	3,64 gün	alfa	Toryum-228
	Radyum-223	11,2 gün	alfa	Uranyum-235
Radon	Radon-222	3,82 gün	alfa	Radyum-226
	Radon-220(toron)	54,5 saniye	alfa	Radyum-224
Stronsiyum	Stronsiyum-90	27,7 yıl	beta	-
	Stronsiyum-89	50,4 gün	-	-
Potasyum	Potasyum-40	$12,5.10^8$ yıl	beta	-
Karbon	Karbon-14	5730 yıl	beta	-
Hidrojen	Hidrojen-3(Trityum)	12,26 yıl	beta	-

Doğal uranyum üç izotopun karışımından oluşur. U-234, U-235 ve U-238. Bunlardan U-238 % 99,28 oranında hakim durumdadır.

Bazı sulara 0,1 ile 10 microgram/l. civarında uranyum bulunmaktadır. Bu dozda uranyumun suda bulunması önemli değildir. Bazı kaplıca ve maden sularımızda ölçülen uranyum değerleri, bölüm 6.2. de verilmiştir.

Radyumun dört izotopu tabloda görülmektedir. Yarı ömrü daha uzun olan Ra-226 sulara diğer izotoplarına göre daha fazla bulunur. Radyum izotopları kuvvetli radyoaktif olduklarından çok küçük miktarları bile kolaylıkla tesbit edilebilir.

Sularda radyum uranyumdan daha az bulunur. Genellikle 1.0 pCi/l.'nin altındadır. Ancak ender hallerde birkaç yüz pCi/l.'lik konsantrasyonlara rastlanmıştır.

Radyum-226'nin radyoaktif parçalanma ürünü olan Radon-222 gaz halinde, yarı ömrü kısa, kuvvetli radyoaktif bir elementtir. Sularda, özellikle kaplıca ve maden sularında sık rastlanır. (Örnek analizler için, bölüm : 6.4 e bakınız.)

Radon'un bir başka izotopu olan ve Toron da denilen Radon-220 toryumun parçalanma ürünüdür. Sularda bulunması mümkünse de, yarı ömrü 1 dakikadan kısa olduğu için önemli değildir.

Doğal suda bulunan en önemli radyoaktif çekirdeklerden biri trityumdur. Sudaki trityumun iki değişik kaynağı vardır. Birincisi , atmosferdeki nötronların, kozmik ışınların etkisi altında azot ile reaksiyona girmesi sonucu oluşan trityumdur :



İkinci kaynak, nükleer denemeler yüzünden atmosferde oluşan trityumdur.

Tritiyum hidrojeolojide geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Suların nisbi yaşlarının bulunması, yeraltısuyu akış hızının hesaplanması, yeraltısuyu ilişkilerinin araştırılması gibi konularda tritiyum faydalı olmaktadır. Tritiyuma bağlı hidrojeolojik yorumlarda şu hususlar bilinmektedir.

1. Deniz suyunda tritiyum konsantrasyonu çok düşüktür. Bunun sonucu olarak sahil yağışlarında iç kısımlara göre daha az tritiyum bulunur.

2. Yağıştaki tritiyum konsantrasyonu yükseklikle artar.

Karbon-14 atmosferde Azot-14 ün nötronlarla bombardımanı sonucu meydana gelir.



Canlı bitkilerde ve suda belli miktarda karbon-14 bulunur. Canlılığı sona ermiş bitkilerin veya suyun karbon-14 miktarı tayin edilerek, bitkinin veya suyun yaşı tayin edilebilir (karbon-14 ün yarılanma süresi 5730 yıldır.)

Radyoaktif stronsiyum izotopları doğal olarak bulunduğu gibi, nükleer artıklardan da suya geçmektedir. Bu izotoplarda izleme deneylerinde, doğal izleyici olarak kullanılabilmektedir. Ancak bunlar tritiyum kadar yaygın değildir.

2. SU ANALİZ SONUÇLARININ İFADESİ

2.1. Genel Konsantrasyon Birimleri

Saf su hariç bütün sulara kimyasal açıdan bir çözelti olarak bakılır. Su içinde birçok madde değişik miktarlarda çözünmüş olarak bulunur. Bu çözeltide su çözücü, suda bulunan diğer elemanlar çözünen maddelerdir. Çözünen maddelerin cinsi ve sudaki miktarları kimyasal analizler sonucunda belirlenir.

Bir çözeltideki çözücü ve çözünen maddelerin karşılıklı miktarlarına konsantrasyon denir. Kimyada konsantrasyon birimleri baylıca iki esasa göre tariflenir.

- a. Çözeltinin birim hacminde çözünen madde miktarı.
- b. Çözücünün birim kütlesinde çözünen madde miktarı.

Bunlardan ilki daha çok analitik kimyada, ikincisi fizikokimyada tercih edilir. Su analizleri genellikle birinci metot içine giren konsantrasyon birimleriyle verilir. Buna karşılık ikinci metot esasına göre de verilebilir.

a. Çözeltinin birim hacminde çözünen madde miktarı : Bu metotta bir litre çözeltide çözünen maddenin kütlesi esas alınarak sonuç verilir. Bu esasa göre verilen başlıca birimler şunlardır.

2.1.1. Litrede Gram veya Litrede Miligram, mg/l

Çözünmüş madde ihtiva eden bir litre su örneğinin (çözelti) çözdüğü herhangi bir (çözünen) elementin gram veya miligram olarak kütlesini gösterir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, su örneği hacminin, çözücü hacmi değil, çözelti hacmi olmasıdır. Yani çözünen elementin ilavesinden sonraki hacim bir litre olacaktır.

Bir su için 2500 mg/l, klorür ihtiva ediyor denildiği zaman, klorürün suyun 1 lt.esindeki klorür miktarının 2500 mg. olduğu anlaşılmaktadır.

2.1.2. Normalite

Bir litre su örneğinde (çözeltide) çözünmüş maddenin ekivalan gram sayısı, çözeltinin normalitesidir., ekivalant/l.veya miliekivalant/l olarak verilir.

Su analiz sonuçlarının ifadesinde miliekivalan/l. (mek/l) çok kullanılır. Bu birim litre suda çözünmüş olan maddenin miliekivalant olarak miktarını ifade eder.

Normalite (ek./l, veya mek/l) sadece iyonik elemanlar için kullanılır. Moleküler maddeler (şeker, karbondioksit v.b) ile kolloidal maddeler için kullanılamaz. Çünkü ekivalant ağırlık, çözünen elementin çözelti içindeki iyon değerliğine, (+) veya (-) yük sayısına göre hesaplanır. Bir elementin atomik ağırlığını, o elementin, söz konusu çözelti içindeki iyon değerliğine bölersek, ekivalant ağırlığını buluruz. Misal olarak kalsiyum'u alalım : Kalsiyum atom ağırlığı 40.08 dir. Suda kalsiyum Ca^{+2} şeklinde bulunur. Yani değerliği (2) dir. Buna göre ekivalant ağırlığı $40.08/2 = 20.04$ olacaktır. İyonik bir element için mg/l. cinsinden verilmiş bir analiz sonucunu, o elementin ekivalant ağırlığına bölersek, sonuç mek/l. cinsine çevrilmiş olur. Suda bulunan başlıca iyonlar için mg/l.-mek/l çevirme faktörleri Tablo : 21 de verilmiştir. (Bölüm : 2.2)

Bileşik yapan bütün elementler, birbirleri ile eşdeğer ağırlıkları veya bunların tam katları oranında birleşirler (Eşdeğer oranlar kanunu). Bu bakımdan farklı bileşimler söz konusu olduğunda, analiz sonuçlarının mek/l. birimi ile verilmesi kolaylık sağlar. Örneğin sodyum klorür oluşumu için, bir ekivalan gram sodyum($22,99/1 = 22,99$ gr.sodyum) ile, bir ekivalan gram klorür ($35,46/1 = 35,46$ gr. klorür) birleşir. Daha genel bir ifade ile sodyum ve klorür daima $22,99/35,46$ oranında birleşirler. Buna göre belli bir bileşiği oluşturan elementlerden birinin miktarı belli ise diğer elementin miktarı kendiliğinden belirlenmiş olur.

Bir çözeltideki iyonların miktarını birbiri ile karşılaştırırken, bu karşılaştırmanın eşdeğer miktarları üzerinden yapılması gerekir. Örneğin mg/l. olarak Na^+ ve Cl^- karşılaştırılacak olursa bu karşılaştırma anlamlı olmaz. Ancak ne kadar klorür ne kadar sodyuma eşdeğerdir esasına göre, sonuçlar mek/l. ye çevrilerek karşılaştırılırsa sonuç anlamlı olur.

Bir çözeltide iyon konsantrasyonları mek/l. olarak verildiği taktirde, anyon toplamı (-yükü iyonlar toplamı) katyon toplamına (+ yükü iyonlar toplamına) eşit olmalıdır.

2.1.3. Molarite

Bir litre çözeltide çözünmüş maddenin molgram sayısıdır. Buna molar konsantrasyon da denir. Sıcaklık değiştiği zaman konsantrasyon değişir.

Bir bileşiği meydana getiren elementlerin atom ağırlıkları toplamı o bileşiğin mol ağırlığıdır. CaCO_3 için mol ağırlığı = $40.08 (\text{Ca}) + 12.01 (\text{C}) + 3 \times 16.0 (\text{O}) = 100.09$ bulunur. Buna göre kireçtaşı çözmüş bir litre suda, 100.09 g. CaCO_3 varsa bu suyun molaritesi "bir" dir denir.

Sonuç normalite cinsinden verilmek istenseydi iyonların (Ca^{+2} ve $\text{CO}_3^{=}$) eşdeğer ağırlıklarına göre hesap yapılacaktı .

b. Çözücünün birim kütleğinde çözünen madde miktarı : Burada çözeltinin birim hacminde değil, çözücünün (saf suyun) birim kütleğinde (örneğin 100 g. veya 1000 g.ında) çözünen maddenin gram veya miligram olarak miktarı esas alınır. Bu esasa göre verilmiş konsantrasyon sıcaklığa bağımlı değildir.

2.1.4. Molalite

1000 g. çözücüde çözünmüş maddenin molgram sayısıdır. Yukarıdaki örnekte verdiğimiz 100.09 g. kalsiyum karbonatı 1000 g. suda çözersek çözeltinin konsantrasyonu bir molal olur. Molalite ile molarite arasındaki ilişki bölüm 2.2 de çevirme faktörleri kısmında verilmiştir.

2.1.5. Milyonda Bir Kısım, ppm

(Part per million, ppm) ağırlıkça, çözünmüş madde/çözelti oranının milyonda biridir. Bir milyon gram tuzlu suda 1 g. tuz çözünmüş ise, bu sudaki tuz konsantrasyonu 1 ppm.dir. denir.

ppm ile mg/l. arasında şu bağıntı vardır :

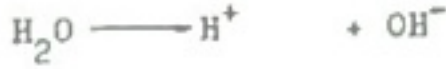
$$\text{mg/l} = \text{ppm} \times \text{yoğunluk.}$$

Çözeltilerin yoğunlukları farklı olduğundan, bütün çözeltiler için mg/l = ppm yazılamaz. Suyun yoğunluğu 1,0 olarak alınabileceği için mg/l = ppm. yazılabilir. Fakat toplam tuzluluk 10.000 ppm i geçiyorsa çözeltinin yoğunluğu 1,0 olarak kabul edilemez, bu taktirde yoğunluğa göre bir düzeltme yapılmalıdır.

ppb: parts per billion; milyarda bir kısım demektir. 1/1000 ppm'e eşittir.

2.1.6. Hidrojen İyonu Konsantrasyonu, pH

Suyun iyonlaşma dengesi şöyledir :



Saf suyun elektrik iletkenliği, bir molar hidroklorik asit (HCl) çözeltisinin elektrik iletkenliğinden 10 milyon defa (10^7 defa) daha azdır. Öte yandan molar hidroklorik asit çözeltisinde Hidrojen (ve klorür) iyonları konsantrasyonu 1 dir. Yukarıdaki denge reaksiyonuna göre sudaki H^+ ve OH^- iyonu eşittir. Saf suyun elektrik iletkenliğinin, molar hidroklorik asit çözeltisinin elektrik iletkenliğinden 10^7 defa daha az olması aynı zamanda sudaki hidrojen iyonlarının da 10^7 defa az olması demektir. Molar HCl çözeltisinde H^+ iyonu konsantrasyonu $1(10^0)$ olduğuna göre saf suda 10^{-7} olacaktır. Buna göre saf suda $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$ veya $[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14}$ dır. (25°C de).

Hidrojen iyonu konsantrasyonunu $2 \cdot 10^{-7}$ veya $4 \cdot 10^{-9}$ şeklinde yazmak yerine, daha kullanışlı bir şekilde, hidrojen iyonu konsantrasyonunun eksi (-) logaritmasını yazmak ve bunu pH ile ifade etmek uygun görülmüştür.

$$pH = - \log [H^+]$$

Az kullanılmakla birlikte OH^- aktifliğinin eksi (-) logaritmasına da **POH** denilmiştir. Saf suda $[OH^-] = [H^+] = 10^{-7}$ olduğundan $pH=pOH= 7$ yazabiliriz.

Sulu çözeltilerdeki birçok olayda hidrojen iyonu konsantrasyonu önemli rol oynar. $25^{\circ}C$ de H^+ aktivitesi litrede 10^{-7} iyongramdan büyükse çözelti asidik, küçükse bazık, 10^{-7} ye eşitse çözelti nötraldir. Başka bir deyişle

$pH = 7$ ise çözelti nötral, $pH > 7$ ise bazık ve $pH < 7$ ise çözelti asidiktir. pH in 0-3 olduğu aralık kuvvetli asidik çözeltiyi ; pH in 11-14 olduğu aralık ise kuvvetli bazık çözeltiyi ifade eder.

2.1.7. Öz direnç ve iletkenlik Birimleri

Düzgün ve dik kesiti $S \text{ cm}^2$ olan bir iletkenin elektrik direnci R , ohm cinsinden

$$R = r. \frac{L}{S} \text{ ohm.}$$

Formülü ile verilir. Burada r öz direnç olup, kesiti 1 cm^2 , uzunluğu 1 cm . olan iletkenin direncine eşittir.

Direncin tersine ($1/R$) iletkenlik, öz direncin tersine ($1/r$) iletkenlik denir. Buna göre iletkenlik (kondüktivite) kesiti 1 cm^2 , uzunluğu 1 cm olan iletkenin iletkenliğini ifade eder.

Direnç ohm birimi ile verildiğinden iletkenlik ($1/\text{direnç}$) ohm^{-1} ile ifade edilir. Pratikte ohm^{-1} yerine ohm'un tersi mho kullanılmaktadır. Buna göre iletkenlik mho/cm birimi ile verilmektedir. Değerler çok küçük ise mho yerine mikromho (μmho) kullanılması uygun olur.

Verdiğimiz tarifler iyonik çözeltiler için de aynı şekilde geçerlidir. Çözeltilerde elektrik akımı elektronla, dolayısı ile iyonlarla iletilir. Buna göre çözeltideki iyon miktarı ile iletkenlik doğru orantılıdır. İyonların büyüklükleri, dolayısı ile çözelti içindeki hareket kabiliyetleri farklı olduğundan iletkenlik toplan iyon miktarı yanında iyonların cinsine ve sıcaklığa da bağlıdır. Sabit bir sıcaklık için verilen iletkenlik (Kondüktivite, EC, electrical conductivity) sudaki iyon miktarının tahmini için emin ve kullanışlı bir metottur. Sudaki iyon miktarı (dolayısı ile tuzluluk) arttıkça suyun iletkenliği yükselir.

Öziletkenliğin cm^3 deki ekivalant gram sayısına oranına ekivalant iletkenlik denir. Bir çözeltinin V hacminde (cm^3 hacim) bir ekivalant gram elektrolit bulunursa ekivalant iletkenliği ;

$$= \text{Öziletkenlik} \times (\text{cm}^3), \text{ mho cm}^2 \text{ dir.}$$

Bir çözeltinin sıcaklığı arttıkça öziletkenliği artar, bu yüzden çözeltilerin öziletkenliği 25°C deki değerleri ile verilir ve karşılığ-
turmalar sabit sıcaklıktaki öziletkenlik üzerinden yapılır. Öziletkenlik herhangi bir sıcaklıkta ölçülürse bir düzeltme faktörü ile çarpılarak 25°C deki öziletkenliğe çevrilir. (Çeşitli sıcaklıklar için düzeltme faktörleri Tablo 5 de verilmiştir.)

2.1.8. Sertlik Birimleri

Suya sertlik veren maddeler çoğunlukla toprak alkali tuzlarıdır. Al, Mn, Fe de suya sertlik verirler, fakat bunların sudaki miktarı ya çok azdır veya yoktur.

Suyun sertliğini ifade etmek için değişik sertlik birimleri kullanılır. En çok kullanılan sertlik birimleri şunlardır.

a. Fransız sertlik derecesi, FS° : 1 lt suda 10 mg CaCO_3 (veya buna eşdeğer başka bir sertlik veren madde) bulunuyorsa bu suyun sertliği 1 FS° dir.

b. Alman sertlik derecesi, AS° : 1 lt suda 10 mg CaO bulunuyorsa bu suyun sertliğine 1 AS° denir.

c. İngiliz sertlik derecesi, IS° : 0,7 lt. suda 10 mg CaCO_3 varsa suyun sertliği 1 IS° dir.

d. ppm (parts per million) 1 lt sudaki sertlik veren maddelerin mg olarak miktarıdır.

e. Val : 1 lt sudaki sertlik veren maddelerin g. ekivalan olarak miktarıdır. **2.1.9. Radyoaktivite Birimleri**

Radyoaktivite kûri ile ölçülür. Dengedeki 1 gram radyumun radyo-aktivitesi 1 kûri (1 c) olarak kabul edilmiştir. Bir kûri, saniyede $3,7 \cdot 10^{10}$ parçalanmalıdır.

Kûri'nin binde birine milikûri (mC = mCi), milyonda birine mikrokûri (C = Ci), milyarda birine nanokûri (nC = nCi), milyon kere milyonda (10^{-12} de) birine pikokûri (pC = pCi) denir.

Literatürde rastlanan diğer radyoaktivite birimleri, Rudherford ($= 2,7 \cdot 10^{-5}$ curies), Eman ($= 10^{-10}$ curies) ve Mache Unite ($3,6 \cdot 10^{-10}$ curies/lt.) dir.

2.2 . Çevirme Faktörleri

2.2.1. Normalite İle mg/l. Arasındaki İlişki

İyonların (anyon ve katyonların) mg/l. olarak verilen analiz sonucunu mek/l. ye çevirmek için, verilen sonuç çözünmüş iyonun eşdeğer ağırlığına bölünür. Aynı şekilde mek/l. olarak verilen bir analiz sonucu, iyonun eşdeğer ağırlığı ile çarpılarak sonuç mg/l. ye çevrilebilir.

Doğal sularda çok rastlanan iyonlar için çevirme faktörleri şöyledir.

Tablo 21- mg/l. ile mek/l. birimleri arasında çevirme faktörleri

KATYONLAR	X	Y	ANYONLAR	X	Y
Kalsiyum Ca^{+2}	0.04990	20.04	Karbonat $\text{CO}_3^{=}$	0.03333	30.00
Magnezyum Mg^{+2}	0.08228	12.15	Bikarbonat HCO_3^-	0.01639	61.02
Sodyum Na^+	0.04348	23.00	Sülfat, $\text{SO}_4^{=}$	0.02082	48.03
Potasyum K^+	0.02558	39.10	Klorür Cl^-	0.02821	35.45
Demir-2 Fe^{+2}	0.03581	27.92	Nitrat NO_3^-	0.01613	62.01
Demir-3 Fe^{+3}	0.05371	18.62	Florür F^-	0.05264	19.00

Tablodaki X değerleri Y lerin tersidir. ($X = 1/Y$) Y değerleri ise karşılardaki iyonların eşdeğer ağırlıklarıdır. mg/l.yi mek/l ye çevirmek için analiz sonucu X faktörü ile çarpılır veya Y faktörüne bölünür Mek/l. yi mg/l. ye çevirmek için ise bu işlemin tersi yapılmalıdır. Örnek olarak 128 mg/l. Ca^{++} , $128/20.04 = 6.23$ mek/l. eder.

2.2.2. Ağırlık Esasından Hacim Esasına Geçişler

Konsantrasyon birimleri bölümünde anlatılan mg/l. ile ppm arasında çözeltinin yoğunluğuna bağlı bir ilişki vardır.

$$\text{mg/l} = \text{ppm} \times \text{çözelti yoğunluğu}$$

Yoğunluğu 1.2 olan tuzlu suyun analizinde, sodyum miktarı 10.000 mg/l. ise, bunun ppm cinsinden değeri $10.000 / 1.2 = 8333.3$ olacaktır.

Hacim esasına göre verilen molarite ile, kütle esasına göre verilen molalite (bk. bölüm 2.1.4) arasında şu ilişki vardır.

$$\frac{m}{c} = \frac{1 + 0.001 mM}{d} \quad \text{Bu ifadede,}$$

m: Molalite
c: Molarite
M: Çözünen maddenin mol gram sayısı
d: Çözeltinin yoğunluğudur.

2.2.3. Sertlik Birimleri Arasındaki İlişkiler

Suyun sertliği değişik ülkelerde çeşitli birimlerle ifade edilmektedir. En çok kullanılan sertlik birimlerinin tanımı bölüm 2.1.8 de verilmiştir. Bu birimlerden herhangi birisi diğerine çevrilebilir. Aralarındaki çevirme faktörleri şöyledir.

1 Alman sertlik derecesi $AS^{\circ} = 1,79$ Fransız sertlik derecesi FS°
1 İngiliz sertlik derecesi $IS^{\circ} = 1,43$ Fransız sertlik derecesi FS°
1 Alman sertlik derecesi $AS^{\circ} = 1,25$ İngiliz sertlik derecesi IS°

Ayrıca analiz sonuçları mg/l. cinsinden verilmiş bir kimyasal analiz sonucundan, suyun sertliğini FS° olarak bulmak için şu eşitlik kullanılır.

$$FS^{\circ} = Ca^{+2} \cdot 0,2497 + Mg^{+2} \cdot 0,4115 + Fe^{+2} \cdot 0,1792 + Mn^{+2} \cdot 0,1822$$

Ancak birçok suda demir ve mangan bulunmadığından bu terimler ihmal edilebilir.

Kalsiyum ve magnezyum'un mek/l. olarak toplamaları 5 ile çarpılmak suretiyle de suyun sertliği FS° olarak hesaplanabilir.

2.2.4. Alkalinite Birimleri Arasındaki İlişkiler

Suyun alkalinitesi, asidi nötralleştirme kapasitesidir. Suya bu özelliği bikarbonat, karbonat ve hidroksil iyonları verirler. Normal sularda hidroksil iyonuna pek rastlanmaz.

Suyun alkalinitesi bikarbonat alkalinitesi ve karbonat alkalinitesi olarak ayrı ayrı verilebildiği gibi herhangi biri cinsinden de verilebilir. 30 mg/l karbonat alkalinitesi 61,02 mg/l bikarbonat alkalinitesine eşdeğerdur. Buna göre katsayı 2,034 dır. Yani,

$$\text{Karbonat alkalinitesi} = \frac{\text{Bikarbonat alkalinitesi(mg)}}{2,034}$$

Toplam alkalinite CaCO_3 cinsinden de verilebilir. mg/l. olarak CaCO_3 cinsinden verilmiş alkalinite 50 ye bölünürse mek/l. ye çevrilmiş olur. Ayrıca toplam alkalinite PS° cinsinden verilmiş ise, bu değer 5 e bölünerek alkalinite mek/l. ye çevrilmiş olur. (Sertliğin tamamı karbonat sertliği ise bu işlemin tersi de doğrudur.)

2.2.5. Öziletkenlik İle Konsantrasyon Arasındaki İlişki

Bir suyun yalnız öziletkenliği (kondüktivitesi verilmiş ise iyon konsantrasyonu yaklaşık olarak bulunabilir.

Öziletkenlik (EC) micromho/cm olarak 25°C de 100 den küçük ise, $\text{EC} = 100 \text{ T}$ eşitliği yazılabilir. Burada T, mek/l olarak anyon (=katyon) toplamıdır.

$\text{EC} > 100$ ise şekil: 10 da verilen nomogram yardımı ile anyon (= katyon) toplamı mek/l. olarak bulunabilir. Hakim anyon $\text{CO}_3^{=}$ veya HCO_3^- ise normal nomogram, Cl^- veya $\text{SO}_4^{=}$ dan biri ise bu iyonlara ait nomogram kullanılmalıdır. İyonların EC yi değiştirmesi aynı oranda olmadığı için, EC konsantrasyon ilişkisi genel bir formül ile verilemez.

Fark metodu ile bazı iyonların hesaplanması : Bazı laboratuvarlarda ve özellikle arazide Na^+ , K^+ ve $\text{SO}_4^{=}$ analizlerinin yapılması zordur. Bu yüzden, analiz yerine hesapla bulunması tercih edilir.

Fark metodu ile, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ veya $\text{SO}_4^{=}$ miktarı, analiz yapılmadan hesapla bulunabilir.

Bir suda toplam anyon = toplam katyon (mek/l.) olacağından, diğer iyonları analizle bulunmuş bir suda, $\text{Na} + \text{K}$ veya SO_4 miktarı,

$$\text{Na}^+ + \text{K}^+ = \text{Toplam anyon} - (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$$

$$\text{SO}_4^{=} = \text{Toplam katyon} - (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-)$$

eşitlikleri ile bulunabilir. Fark metodunda ancak $\text{SO}_4^{=}$ veya $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ hesaplanabilir. Bunlardan biri analizle bulunmuş olmalıdır. İkisi için de analiz yapılamamış ise çift fark metodu uygulanır.

Çift fark metodu : Bu metotta, iletkenlik ile toplam iyon konsantrasyonu ilişkisinden faydalanılır. Çift fark metodu için, suyun EC si doğru olarak ölçülür ve 25°C'deki eşdeğeri hesaplanır. Şekil:10'daki nomogramlar kullanılarak suyun toplam iyon miktarı bulunur. Na⁺ ve SO₄ dışındaki iyonlar analizle bulunmuş olmalıdır. Buna göre,

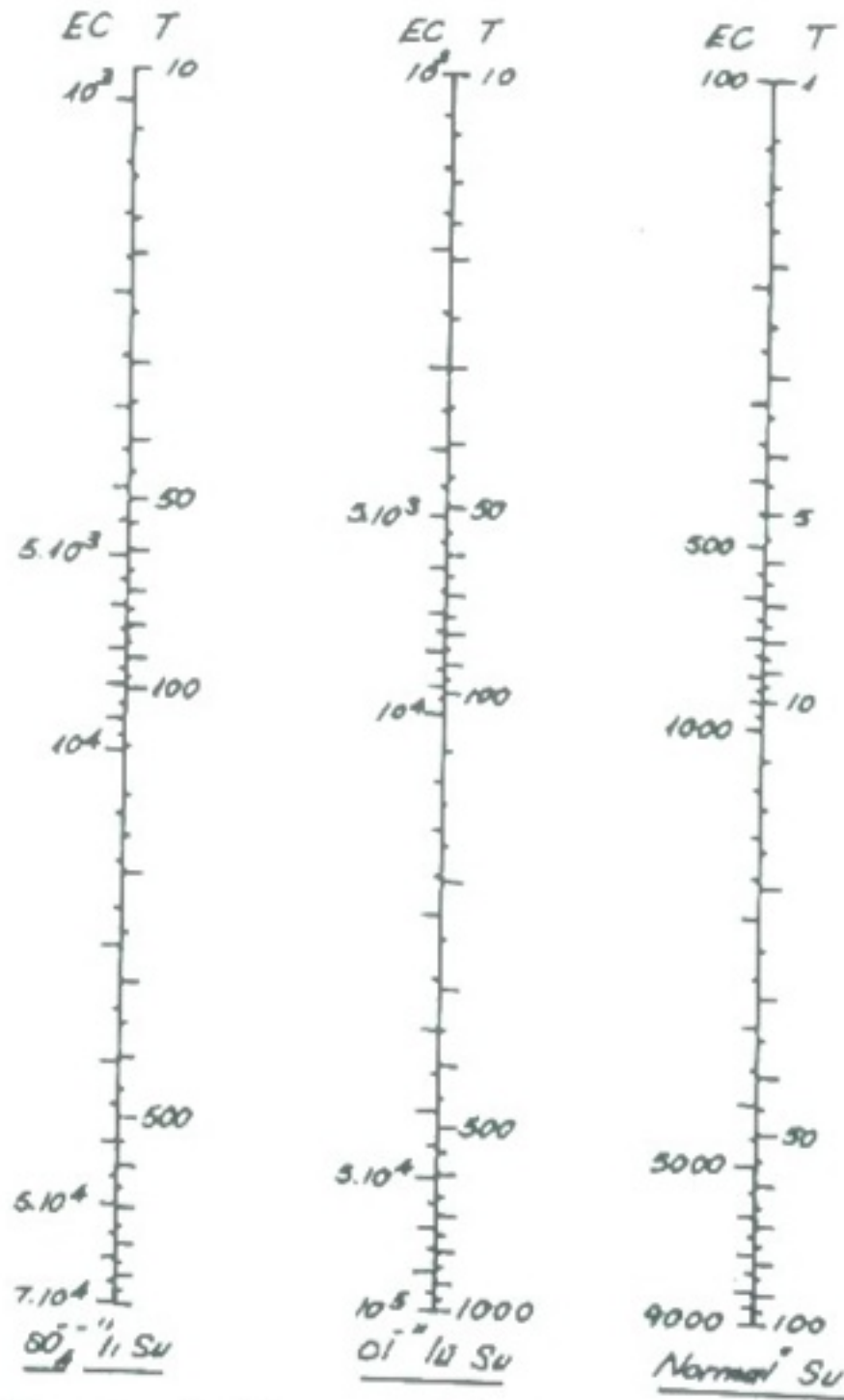
$$\text{Na}^+ + \text{K}^+ = \text{Toplam iyon} - (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) \text{ ve}$$

$$\text{SO}_4^{=2} = \text{Toplam iyon} - (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-)$$

eşitlikleri ile Na⁺ + K⁺ ve SO₄⁼ hesaplanır.

Yüksek konsantrasyonlarda ve özellikle % Na değeri fazlaca sularda bu metod önemli hatalara yol açar.

Her iki metotta iyonlar mek/l.birimi ile alınmalıdır.



Şekil 10- KONDÜKTİVİTE (EC)DEN İYONİK TOPLAMIN (T)
HESAPLANMASI İÇİN NOMOGRAM

EC : micromho/cm, 25°C, 8xiletkenlik

T : Toplam anyon (veya kation), mek/L.

3. İÇME VE KULLANMA SUYU KRİTERLERİ

İçme suyunda aranan başlıca özellikler, sağlığa zararlı olmaması ve içiminin hoş olmasıdır.

Suyun hoş içimli ve serinletici olması fiziksel ve kimyasal özellikleri ; sağlık yönünden uygunluğu ise, kimyasal, bakteriyolojik ve radyoaktif özellikleri ile ilgilidir. Suların bu özellikleri, yapılan analizler sonucu belirlenir ve sonuçlar verilen Standartlar ile karşılaştırılır.

İçme suları için uluslararası uyulması zorunlu bir standart yoktur. Suda bulunabilen çeşitli maddeler için farklı ülkelerde değişik limitler kabul edilmiştir. Tablo; 22 ve 23

Sularda bulunabilen maddelerin insana etkisi, maddelerin cins ve miktarına göre değişir. Tuzluluk ve sertlik veren iyonlarda olduğu gibi, bazı maddelerin etkisi dolaylı ve oldukça esnektir. Arsenik, flor, hastalık yapıcı bakteriler gibi bazı maddelerin etkisi ise direkt olup, esneklikleri de azdır. Bu yüzden sular, içme ve kullanma yönünden değerlendirilirken, ele alınan maddenin insana etkisi ve esnekliği bilinmeli ve buna göre karar verilmelidir.

İnsana etkisi dolaylı ve esnekliği fazla olan elementler aşağıda I. grup, diğerleri ise II. grup olarak verilmiştir. Dünyada II. grup elementler için verilen standartlar genellikle birbirine yakındır. I. grup elementler için verilen standartlar ise, ekonomik şartlara ve su bulma imkânlarına göre daha esnek olarak değişmektedir.

I. grup maddeler:

- Renk ve bulanıklık maddeleri
- Sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, demir katyonları
- Klorür, Sülfat, karbonat anyonları

II. grup maddeler

- Kurşun, arsenik, krom, fenolik maddeler, florür, nitrit, nitrat, hastalık yapıcı bakteriler.

Bir suda, maddelerin pek çoğu standartlarda verilen limit değerlerin altında olduğu halde, I. gruba giren elementlerden birisi veya birkaçı limitleri geçebilir. Böyle bir su için hemen "içilmez" demek doğru değildir. Türk Standartlarında sülfat için mücade edilen değer 200 mg/l. maksimum değer ise 400 mg/l. olarak kabul edilmiştir. Diyelim ki, diğer yönlerden uygun, fakat sulfatı 600 mg/l. olan bir su bulunsun. Bu suya "içilmez" dememek gerekir. Çünkü sülfatın fazlası müshil etkisi gösterdiği için istenmez; fakat zamanla alışılır. Daha başka bir su yoksa veya ekonomik değilse bu su için "içilebilir" denmelidir. Aynı şekilde, sert sular da sağlık endişesinden ziyade sabun tüketimini artırdığı için istenmez. Dolayısı ise sertlik elemanları da yeterince esnektir.

Sularda II. gruptan bir madde bulunması halinde ise aynı şekilde esnek davranamayız. Çünkü bu gruptaki maddeler ya zehirleyici ya da hastalık yapıcıdır. Meselâ, tifo, kolera, mikrobik sarılık gibi hastalıkların yayılmasında en önemli aracı sudur. bazı istatistiklere göre, hastahanelerdeki hastaların % 25 i su tarafından taşınan hastalıklardan şikayetçidir.

İnsan ve çevre sağlığı yönünden, içme ve kullanma suyunun kalitesi yanında yeterliği de önemlidir. Temizlik için yeterince su yoksa, mevcut kirli ortam, çeşitli hastalıkların yayılmasına uygun hale gelir.

Bu konuda tüketicilerde yeterince eğitilmiş olmalıdır. Çünkü, tüketiciye temiz ve kullanılabılır bir su temin etmek, toplum sağlığı açısından gerekli ise de yeterli değildir. Tüketici hizmetine sunulan temiz suyu, içene kadar aynı temizlikte tutamıyor ise, bir başka deyişle, musluğundan akan temiz suyu, kirli bir bardaktan içiyorsa, bu suyu sağlamak için harcanan emek ve para amacına ulaşamamıştır. Etkili bir sonuç olabilmek için, her konuda olduğu gibi, hizmet amaca uygun bir eğitimle bütünleştirilmelidir.

İçme suyu analizi yaptırmak için su numunesi alma yöntemleri Ek: 3 de verilmiştir.

Tablo:22-de "TS.266 İçme Suyu Standartları" ve bir karşılaştırma imkânı sağlamak amacı ile Tablo:23-de Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) ile AED Halk Sağlığı Kuruluşu (USPHS) ~~mun~~ içme suyu standartları verilmiştir.

Tablo : 22_ İçme sularının fiziksel ve kimyasal özellikleri
(TS 266, Birimler mg/l.)

LADDE İSMİ	MÜSAADE EDİLEN DEĞER	MAKSİMUM DEĞER
1. Zehirli Maddeler:	-	0.05
1.1. Kurşun (Pb)	-	0.01
1.2. Selenyum (Se)	-	0.05
1.3. Arsenik (As)	-	0.05
1.4. Krom (Cr ⁺⁶)	-	0.2
1.5. Siyanür (CN)	-	0.01
2. Sağlığa Etki Yapan Maddeler :		
2.1. Florür (F)	1.0	1.5
2.2. Nitrat (NO ₃)	-	45
3. İçilebilme Özelliğine Etki Yapan Maddeler :		
3.1. Renk	5 Birim	50 Birim
3.2. Bulanıklık	5 Birim	25 Birim
3.3. Koku ve tad	Kokusuz, normal	Kokusuz, normal
3.4. Buharlaştırma kalıntısı	500	1500
3.5. Demir (Fe)	0.3	1.0
3.6. Mangan (Mn)	0.1	0.5
3.7. Bakır (Cu)	1.0	1.5
3.8. Çinko (Zn)	5.0	15
3.9. Kalsiyum (Ca)	75	200
3.10. Magnezyum (Mg)	50	150
3.11. Sulfat (SO ₄)	200	400
3.12. Klorür (Cl)	200	600
3.13. PH	7.0 - 8.5	6,5 - 9,2
3.14. Bakiye klor	0.1	0.5
3.15. Fenolik maddeler	-	0.002
3.16. Alkil benzil sülfonat	0.5	1.0
3.17. $\text{LG} + \text{Na}_2 \text{SO}_4$	500	1000
4. Kirlenmeyi Belirten Maddeler :		
4.1. Toplam organik maddeler	3.5 mg/l (x)	-
4.2. Nitrit	-	-
4.3. Amonyak	-	-

(x) Sudaki toplam organik madenin litrede 3.5 mg/l aşması halinde bakteriyolojik muayenesine özellikle titiz davranılacaktır.

Tablo : 23 - Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) ile ABD Halk Sağlığı Kuruluşu (USPHS) nun içme suyu standartları

	WHO international, 1958			WHO Avrupa, 1961		USPHS, 1962	
	Tavsiye edilen	Müsade edilen	En son limit	Tavsiye edilen	müsade edilen	Tavsiye edilen	Müsade edilen
Alkil benzen sülfonat	-	-	-	-	-	0,5	-
Amonyum	-	-	-	0,5	-	-	-
Arsenik	-	-	0,2	-	0,2	0,01	0,05
Bakır	1,0	1,5	-	3,0	-	1,0	-
Baryum	-	-	--	-	-	-	1,0
Çinko	5,0	15,0	-	5,0	-	5,0	-
Çözünmüş oksijen (en az)	-	-	-	5,0	-	-	--
Demir	0,3	1,0	-	0,1	-	0,3	-
Fenolik bileşikler	0,001	0,002	-	0,001	-	0,001	-
Florür (xx)	-	-	-	1,5	-	0,8-1,7	1,6-3,4
Gümüş	-	-	-	-	-	-	0,05
Kadmiyum	-	-	-	-	0,05	-	0,01
Kalsiyum	75	200	-	-	-	-	-
Kloroform ekstraktı	-	-	-	-	-	0,2	-
Klorür	200	600	-	350	-	250	-
Krom-6	-	-	0,5	-	0,05	-	0,05
Kurşun	-	-	0,1	-	0,1	-	0,05
Lagnezyum (x)	50	150	-	125	-	-	-
M ⁺ + Na ₂ SO ₄	500	1000	-	-	-	-	-
Mangan	0,1	0,5	-	0,1	-	0,05	-
Nitrat	-	-	-	50	-	45	-
Selenyum	-	-	0,05	-	0,05	-	0,01
Siyanür	-	-	0,01	-	0,01	0,01	0,2
Sülfat	200	400	-	250	-	250	-
Toplam katılar	500	1500	-	-	-	500	-

- Herhangi bir değer verilmemiştir.

x Sülfat 250 mg/l.yi bulduğu zaman Mg 30 mg/l.yi geçmemelidir.

xx Alt ve üst limitler, günlük max. sıcaklıklarının yıllık ortalaması ile ilgilidir.

Bu sıcaklık 26°C veya daha fazla ise alt limit 14°C veya daha az ise üst limit alınmalıdır.

4. SULAMA SUYU KRİTERLERİ

4.1. Giriş

Suların sulamaya uygunluğunun belirlenmesi, içme ve kullanmaya uygunluğunun belirlenmesinden daha zor ve karmaşıktır. Bu yüzden, konu ile ilgili olarak uluslararası bir standart getirilememiştir.

Aslında sulama suları için bir standart getirmek de mümkün değildir. Çünkü bir bitkinin gelişmesi, sudan başka birçok faktörlere bağlı olduğu gibi, ayrıca bu faktörlerle suyun karşılıklı etkileşimine de bağlıdır. Bitkinin tepkisi doğrudan doğruya sulama suyuna değil, sulama sonucu meydana gelen toprak-su eriyiğinin özelliklerine bağlıdır. Böyle olunca suyu tek başına ele almak ve buna göre standart koymak anlamsızdır.

Aynı şekilde bölgesel iklim, bitki türü, tarım metotları, drenaj durumu, yerel şartlar, sulama sıklığı ve verilen su miktarı gibi sonucu etkileyen birçok faktör su kalitesi ile birlikte ele alınmalıdır. Bir suyun sulama için uygun olup olmadığı, bütün bu faktörler değerlendirilerek belirlenmelidir. Bu kadar değişkeni birarada değerlendiren bir standart koymanın güçlüğü açıktır. Ancak geliştirilen bazı kavramlar, çok kesin olmasa bile standarda yakın değerlendirmelere imkan sağlamaktadır.

4.2. Kavramlar ve Tarifler

4.2.1. Tuzluluk

Sulama suyu için tuzluluk, suda çözünmüş (iyonlaşmış) olarak bulunan tuz miktarını ifade eder. Suda çözünen bütün iyonlar tuzluluğu artırıcı etki gösterir. Ancak bitkiler üzerine etkisi yönünden bazı iyonlar daha önemlidir.

Toprak için tuzluluk, toprağın kök bölgesi içinde, suda çözünebilen tuzların miktarını ifade eder.

Topraklarda rastlanan tuzların başlıca üç kaynağı vardır. Litosfer, su ve denizler. Ancak su ve deniz, tuz için bir araç olup, bunlardaki tuzun da asıl kaynağı litosferdir.

Tarım açısından önemli olan, suda eriyebilen tuzlardır. Su bu tuzları taşıyan bir araçtır. Kök bölgesine kadar yükselen yeraltı suyu, taşkın suyu veya sulama suyu olarak su, bitkiler için tuz kaynağı olur. Zaten bitki tuzu bünyesine su ile birlikte alır.

Toprak tuzlanması başlıca iki şekilde meydana gelir. Bunlar sulama suları içindeki tuzların toprakta birikmesi veya yetersiz drenaj dolayısı ile meydana gelen tuzlanmalardır. Bu şartlar kurak bölgelerde yeterince mevcut olduğu için tuzlanma da bu bölgelerde daha yaygındır.

Sulamaya uygun sular bile, toprakta bir miktar tuz birikmesine yolaçar. Bu yüzden kullanılan suyun tuz konsantrasyonuna göre, bir miktar fazla su yıkama amacı ile verilmelidir.

Yetersiz drenaj da önemli bir tuzlanma sebebidir. Yüksek taban suyu ve toprağın düşük permeabilitesi ayrı ayrı veya birarada tuzlanmayı artırır.

Bitkiler üzerinde tuzluluğun fiziksel ve kimyasal önemli etkileri vardır. Tuzlu topraklarda osmotik basınç artar. Böylece bitkinin su alımı ve beslenmesi yavaşlar. Bazı tuzlar bitkinin besin almasını zorlaştırır. Metabolizmayı bozar. Ancak bitkilerin tuzluluğa dirençleri aynı değildir. (Tablo : 24)

Suda olduğu gibi topraklar da tuzluluklarına göre sınıflandırılırlar. (Suların tuzluluk sınıflaması bölüm 4.3.4 de verilmiştir.) Suyun sulamaya uygunluğu tayin edilirken, toprağın durumunu da gözönüne almak gerekir. Yaygın olarak kullanılan Amerikan sistemine göre, toprakların tuzluluk sınıflaması şöyledir :

	Toplam eriyebilir tuz konsantrasyonu %	Elektriki geçirgenlik, 25°C EC x 10 ³ , milimho/cm.
Tuzsuz toprak	0-0,15	≤ 4.0
Az tuzlu toprak	0.15-0.35	4.0-8.0
Orta tuzlu toprak	0.35-0.65	8.0-16
Yüksek tuzlu toprak	> 0.65	> 16

4.2.2. Sodiklik

Topraklar için kullanılan sodikleşme terimi, bir bakıma özel bir tuzlanmayı belirtir. Alkalileşme de denilen sodikleşme, topraktaki değişebilir sodyum miktarının artması, toprağın sodyumca zenginleşmesidir.

Normal topraklarda hakim katyonlar Ca ve Mg dur. Yetersiz drenaj ve yıkama sağlamayan sulamalar sonucu tuz konsantrasyonu artarsa, doygunluk limitine ulaşan CaCO_3 , CaSO_4 ve MgCO_3 çöker. Bunun sonucu toprak çözeltisinin Na oranı artar. Ayrıca Na oranı yüksek sularla sulama sonucu katyon değişimi ile toprakta Na miktarı yükselir. Böylece toprağın değişebilir Na oranı yükselerek toprağın sodikleşmesine yolaçar.

Görüldüğü gibi sodikleşme, tuzlanmayı takibeden bir olaydır. Yeterince tuzlanma olmadan sodikleşme olamaz. Genellikle çözünabilir tuzların % 50 veya daha fazlası sodyum olunca sodikleşme meydana gelebilir. Yüksek sodyumlu sular (özellikle yüksek RSC) toprakta sodikleşmeye yolaçacağından sulamada istenmez.

Sodikleşme toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkiler. Bu tür topraklarda değişebilir sodyum oranı yükseldikçe, toprak geçirgenliğini kaybeder, tava gelmesi güçleşir. Islanınca yapışkan, kuruyunca çatlaklı ve kabuklu bir yapı kazanır.

Bitkilerin tuzluluk ve sodikliğe dirençleri Tablo: 24 ve 25 de verilmiştir.

4.2.3. Sodyum Yüzdesi, % Na

Özellikle 1950 lerden önce, sulamaya uygunluğun bir ölçüsü olarak % Na kavramı kullanılmıştır. Genel olarak sodyum yüzdesi 50 den küçük olan sular sulamaya uygun kabul edilmiştir.

Sodyum yüzdesi suyun toplam katyonları içinde % Na değerini ifade eder. İyon birimleri mek/l. olmak üzere,

$$\% \text{ Na} = \frac{\text{Na}}{\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}} \cdot 100$$

Bir suda bulunabilen en önemli katyonlar Na, K, Ca ve Mg olduğu için, katyon toplamı, bunların toplamı olarak alınmış, diğer katyonlar ihmal edilmiştir.

Tablo : 24 _ Bitkilerin tuzluluğa dirençleri

Bitkiler azalan verim dizisi içinde türlerine göre sınıflandırılmıştır. Verilen tuzluluk kök bölgesi içindeki tuzluluktur.

<u>Dayanıklı</u>	<u>Orta Dayanıklı</u>	<u>Hassas</u>
<u>(12-8) milimho/cm</u>	<u>(8-4) milimho/cm</u>	<u>(3-2) milimho/cm</u>
Arpa	Çavdar, Mısır	fasulye
Pancar (kırmızı)	Buğday, Çeltik	
Pamuk	Yulaf, Keten	
	Soyafasul. Ayçiçeği	
	Bakla	
<u>(8-5) milimho/cm</u>	<u>(5-3) milimho/cm</u>	<u>(3-2) milimho/cm</u>
Salatalık, Pancar	Domates, Dolmabiber	Turp
Karadeniz lahanası	Lanana, Havuç	Kereviz
Kuşkonmaz	Karnabahar, Soğan	T. Fasulye
İspanak	Marul, Bezelye	
	Mısır, Kabak	
	Patates	
<u>(12-7) milimho/cm</u>	<u>(6-3) milimho/cm</u>	<u>(3-2) milimho/cm</u>
Otlak ayrığı	Sarıtaş yoncası, yulaf çimi	Beyaz tırfıl
Çavdar çimi	İngiliz çimi, Domuz ayrığı	Tilki kuyruğu
Arpa çimi	Çilek tırfılı, Ayrık	Çayır tırfılı
Gazel boynuzu	Yonca Geven	
<u>8 milimho/cm</u>	<u>(6-3) milimho/cm</u>	<u>(3-1.5) milimho/cm.</u>
Hurma	Nar	Portakal, Şeftali
	İncir	Altıntop, Kayısı
	Zeytin	Limon, Bögürtlen
	Asma	Elma, Çilek
		Armut, Badem
		Erik

Tablo: 25— Bazı bitkilerin değişebilir sodyum yüzdesine (ESP) gösterdikleri direnç

<u>Bitki Cinsi</u>	<u>Etkili ESP limiti</u>	<u>Direnç durumu</u>	<u>Gelişmede belirtiler</u>
Sera çekirdekli meyveler	2-10	Son derece hassas	Düşük ESP de bile sodyumun zehirleyici etkisi iyi toprak yapısına rağmen durgun büyüme
Narenciye ve Fasulyeler	10-20	Hassas	
Tırfıl, Yulaf, Yumak otu, Çeltik	20-40	Orta	Zayıf toprak yapısı ve beslenme zorluğunda durgun büyüme
Buğday, Pamuk, Yonca Arpa, Domates, Pancar	40-60	Dayanıklı	Zayıf toprak yapısında durgun büyüme
Ayrık, otlak ayriğı, Podos çimi.	60 - +	En dayanıklı	Genellikle zayıf toprak yapısında durgun büyüme

Son yıllarda % Na yerine, daha anlamlı bir değerlendirme ölçütü olan "Sodyum Adsorpsiyon Oranı" kavramı kullanılmaktadır.

4.2.4. Sodyum Adsorpsiyon Oranı, SAR

Sulama suları ve toprak ekstraktı için kullanılan bir orandır. Bu oran, sodyum iyonunun değişim reaksiyonlarındaki aktifliğinin ifadesi olup, sodiklik tehlikesi yönünden suların sınıflamasında en fazla kullanılan genel bir ölçüdür.

Bikarbonat ve karbonat değerleri nisbeten düşük olan suların değerlendirmesi için SAR yeterli bir kriterdir.

Değerler mek/l. olmak üzere, SAR, aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

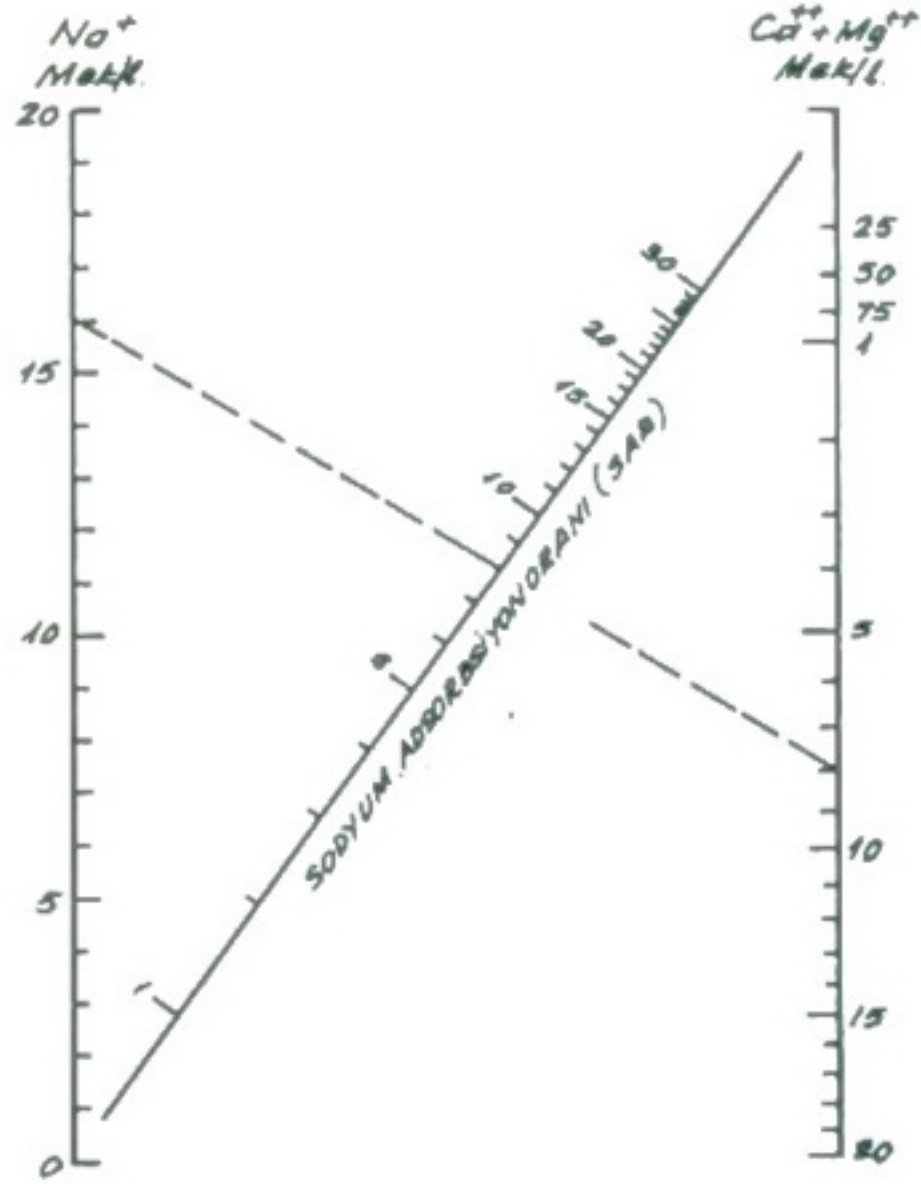
SAR değeri bu formülden hesaplanabileceği gibi, Şekil : 11 de verilen nomogram yardımı ile de kolayca bulunabilir.

SAR kavramı, sodyumu tek başına değil, Ca ve Mg ile karşılıklı etkileşimi ve katyon değişimi reaksiyonlarındaki aktifliği ile dikkate aldığı için, % Na a göre daha anlamlıdır. Bilindiği gibi Ca ve Mg suda sodyum tehlikesini azaltıcı etki gösterir.

Yukarıda belirtildiği gibi SAR, nisbeten düşük karbonatlı sularda sodiklik tayini için iyi bir ölçüdür. Ancak karbonatlı sularda sodiklik tayini için başka metotlar kullanılır. Bu metotlar başlıca, Artıksal Sodyum Bikarbonat (Sodyum Karbonat Kalıntısı) ve Langelier Saturasyon indeksidir.

4.2.5. Artıksal Sodyum Karbonat

Bilindiği gibi bir suda Ca ve Mg konsantrasyonu doygunluk sınırını geçmiş ise $CaCO_3$ ve $MgCO_3$ halinde çökerir. Bunun sonucu olarak suyun % Na oranı yükselir. Artıksal sodyum karbonat kavramı, toprak eriyiğindeki Na oranının, bu şekilde artma ihtimalini önceden tahmin etmeye yarar.



Şekil: 11 - SODYUM ADSORBSİYON ORANININ TAYİNİ İÇİN NOMOGRAM

ÖRNEK: Na^+ 15 Mek/l.
 $Ca+Mg$: 3 Mek/l. ise
 $SAR = 8.0$

Artıksal sodyum karbonat şöyle hesaplanır : Değerler me/1. olmak üzere,

$$RSC = (HCO_3^- + CO_3^{--}) - (Ca^{++} + Mg^{++})$$

Görüldüğü gibi RSC, suyun Ca ve Mg miktarına tekabül eden karbonatından fazla olan karbonat miktarını göstermektedir ki, bu karbonat Ca katyonu ile dengelenecek demektir. Na_2CO_3 ın çözmesi ise mümkün olmadığından böyle bir su katyon değişimine yatkın demektir.

4.2.6. Langelier Saturasyon İndeksi

Kapalı bir sistemde, CO_2 kaybı olmaksızın, sularda çökebilecek veya yeniden çözünebilecek karbonat miktarını belirlemek için bir başka yol, Langelier tarafından geliştirilen saturasyon indeksi metodudur. Bu şekilde bir suda karbonat çökmesi, dolayısı ile toprakta sodyum artışı olup olmayacağı önceden tahmin edilir.

Saturasyon indeksi şekil : 12 de verilen diyagramdan okunan pHs değerini, suyun gerçek (ölçülen) pH değerinden çıkartarak hesaplanır. Buradaki pHs suyun teorik pH ı demektir. Teorik pH ı ölçülen pH sına eşit olan su, ne $CaCO_3$ çözer ne de $CaCO_3$ çökeltir. Saturasyon indeksi (I) negatif ise suyun yeniden $CaCO_3$ çözebileceği, pozitif ise bir miktar $CaCO_3$ çöketeceği anlaşılır. Sulama suyu açısından I nın sıfır ve negatif değerleri, sodiklik tehlikesinin olmadığına işaret eder.

Bu diyagramdan okunan pHs değeri kullanılarak, yüksek karbonatlı suların yapacağı değişebilir sodyum yüzdesi aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır.

$$ESP = 2 SAR + 2 SAR (8.4 - pHs)$$

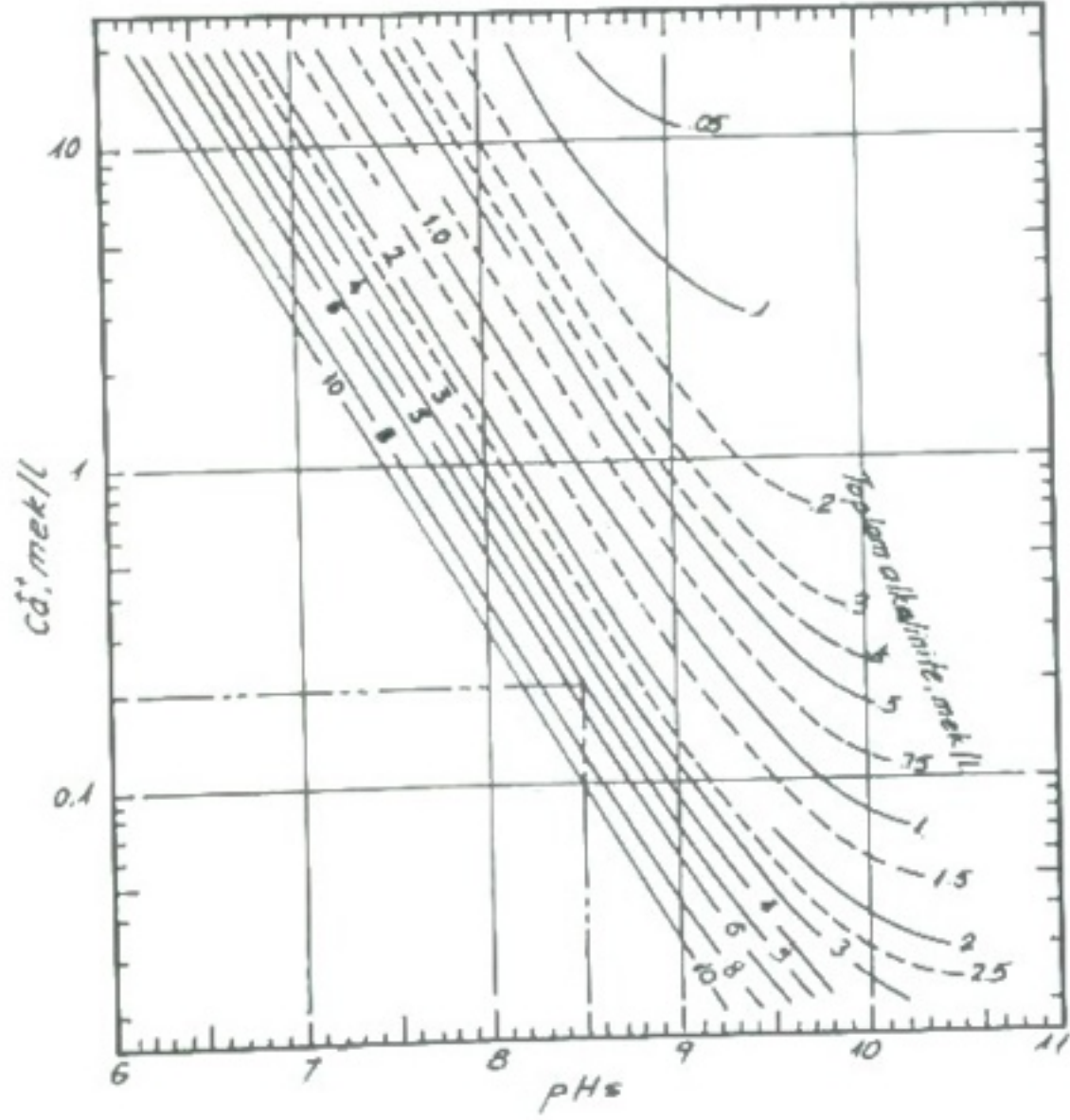
ESP : Suyun toprakta dengeye ulaşmasından sonra, toprakta birikmesi hesaplanan değişebilir sodyum yüzdesi

SAR : Sodyum adsorpsiyon oranı

pHs : Langelier denge diyagramından okunan pH değeri

Suların ESP değerine göre sınıflaması Bölüm 4.3.7 de verilmiştir.

Sudan çöken karbonat miktarı esasına dayanan diğer sulama suyu sınıflama yöntemleri efektif tuzluluk ve tuz indeksidir.



Şekil 12 - KALSIYUM DENGİ DİYAGRAMI
LANGELIER

$$I = pH - pH_s$$

$I = \pm 0.1$ ise su nötr

$I > 0.1$ ise su kireçlendirici

$I < -0.1$, , , çürütücü (korozif)

4.2.7. Efektif Tuzluluk

Kısmen yeni bir kavramdır. Bu sınıflama sisteminde, çözünürlük nisbeten az olan CaCO_3 , CaSO_4 ve MgCO_3 tuzlarının, doygunluk sınırına erişince toprakta çökecekleri, dolayısı ile tuz birikimine yol açmayacakları kabul edilmektedir.

Su analizinde kalsit, dolomit ve jips şeklinde çökebilen katyonlardan artakalan katyon miktarına efektif tuzluluk adı verilmektedir.

Efektif tuzluluk hesaplanırken sudaki CaCO_3 , MgCO_3 ve CaSO_4 miktarına kadar çıktığı varsayılır. RSC değeri pozitif olan sulara Ca ve Mg tamamen çökmüş sayılacağından efektif tuzluluk $\text{Na} + \text{K}$ değerine eşit olur.

$(\text{CO}_3 + \text{HCO}_3 + \text{SO}_4) \geq (\text{Ca} + \text{Mg})$ ise de aynı şey sözkonusudur.

Efektif tuz hesaplamalarında karbonat ve bikarbonat iyonları arasında bir fark gözetilmez.

Aşağıda iki su analizi için efektif tuzluluk hesaplanmıştır.

EC	Na^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	CO_3^{--}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{--}
(1)	1700	14.20	0.21	1.35	1.15	2.00	8.85	3.72
(2)	720	2.64	0.15	1.20	3.22	0.0	1.45	0.94

İyonlar mek/l.birimiyle verilmiştir.

1. analiz için efektif tuzluluk :

a) Önce CaCO_3 çıktığı varsayalım : 1.35 mek/l. Ca, 1.35 mek/l. CO_3 ile çöker. Geriye $2.00 + 8.85 - 1.35 = 9.50$ karbonat kalır.

b) Mevcut 1.15 mek/l. Mg. karbonat halinde çökecektir.

$9.50 - 1.15 = 8.35$ mek/l. karbonat kalır. Ancak çökebilecek katyon kalmadığı için karbonatın fazlası ve sülfat harcanmayacaktır. Buna göre kalan katyon toplamı efektif tuzluluğa eşittir. Burada sadece Na ve K kalmıştır, (RSC pozitif) ve efektif tuzluluk = 14.41 mek/l.dır.

2. Analiz için efektif tuzluluk

a) Ca CO_3 çöktünce $1.45 - 1.20 = 0.25$ mek/l. karbonat kalır.

Bu karbonatı 0.25 mek/l Mg çöktürecektir. Bunun sonunda

$3.22 - 0.25 = 2.97$ Mg kalır.

Bu Mg u çöktürecek karbonat olmadığından çökmeden kalacaktır.

Böylece efektif tuzluluk kalan bu Mg ile Na + K toplamına eşit olacaktır.

Effektif tuzluluk = $2.97 + 2.64 + 0.15 = 5.76$ mek/l dir.

Sulama sularının efektif tuzluluk esasına göre sınıflanması,

bölüm 4.3 de anlatılmıştır.

4.2.8. Tuz İndeksi

Bilindiği gibi sudaki anyon ve katyonların miktarı ekivalant olarak birbirine eşittir. Bir suda çözünmüş halde bulunan iyonların, tuz oluşturarak tamamen çökeceğini kabul edersek, bu çökme sırası katyonlarda Ca, Mg, Na ; anyonlarda ise CO_3 , HCO_3 , SO_4 ve Cl şeklindedir.

Ca, önce ekivalant miktarda CO_3 ile birleşir. CO_3 yoksa, HCO_3 ile birleşir. Ca tükenince Mg, önce ve HCO_3 , sonra sıraya göre diğer katyonlarla birleşir.

Tuz indeksi, iyonların bu sıraya göre birleşeceği esastan hareketle, suların sulamaya uygunluğunu belirlemeye yarayan kısmen yeni bir kavramdır.

Bir sulama suyu analizinden, tuz indeksi aşağıdaki formüle göre hesaplanır. Değerler mg/l. alınmak üzere,

$$\text{TUZ İNDEKSİ} = (\text{Toplam Sodyum} - 245) - (\text{Toplam kalsiyum} - \text{CaCO}_3 \text{ içindeki kalsiyum}) + (\text{Toplam magnezyum} - \text{MgCO}_3 \text{ içindeki magnezyum}) \times 4.85$$

Bulunan sonuç negatif ise suların sulamaya uygun olduğu kabul edilir.

4.3. Sulama Suyu Sınıflandırma Sistemleri

Burada verilecek olan sulama suyu sınıflandırma sistemleri, teorik olmaktan çok arazi deneylerine dayanmaktadır.

Daha önce belirtildiği gibi, bitkilerin tepkisi sadece sulama suyu değil, aynı zamanda suyun etkisinde bulunan toprağadır. Ayrıca bitki türü, iklim, drenaj ve tarım metotları sonucu büyük ölçüde etkiler. Bu bakımdan her türlü değişkeni içine alan bir sınıflandırma sistemi yoktur.

Bütün sınıflandırma sistemleri, su ne kadar az tuzlu ise, sulamaya o ölçüde uygundur gibi bir anlayışla düzenlenmiştir. Fakat bu anlayış doğru değildir. Çünkü çok az tuzlu sular yavaş filtre olduğu halde, 500 mg/l. civarında tuzlu olan suların süzülme yeteneği fazladır.

Sulama suyu sınıflandırma sistemlerinin en çok kullanılanları şunlardır :

Scofield Sistemi

Wilcox ve Lagstad sistemi

Wilcox grafik sistemi

ABD tuzluluk laboratuvarı sistemi

Efektif tuzluluk sistemi

Artıksal sodyum karbonat sistemi

Langelier saturasyon indeksi sistemi

Tuz indeksi sistemi

Bu sistemler içinde ABD tuzluluk laboratuvarı sistemi ile Wilcox grafik sistemi daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu sistemleri mutlak standartlar olarak değil, suyun uygunluğu bakımında bir rehber olarak değerlendirmek gerekir.

4.3.1. Scofield Sistemi

En eski sistemlerdendir. Suları sodyum yüzdesi ve iletkenlikleri esasına göre sınıflandırmıştır. İletkenlik değeri, 25°C de ve micro-mho/cm birimi ile verilmek üzere sular şöyle sınıflandırılır :

<u>Su Sınıfı</u>	<u>Öziletkenlik, EC μmho/cm</u>	<u>Sodyum Yüzdesi</u>
1. Sınıf : Çok iyi	250 den az	20 den az
2. Sınıf : İyi	250 - 750	20 - 40
3. Sınıf : Kullanılabilir	750 - 2000	40 - 60
4. Sınıf : Şüpheli	2000 - 3000	60 - 80
5. Sınıf : Uygun değil	3000 den fazla	80 den fazla

4.3.2. Wilcox ve Magistad Sistemi

Kullanılması daha kolay olan bu sistem A.B.D'de çok kullanılmaktadır. Suları üç sınıfa ayırmakta ve sınıflamada sodyumdan başka bor ve klorür değerlerini de dikkate almaktadır.

<u>Su Sınıfı</u>	<u>EC μmho/cm</u>	<u>% Na</u>	<u>Bor, ppm</u>	<u>Cl⁻, mek/l</u>
1. Sınıf	1000 den az	60 dan az	0.0-0.5	0.0 - 5.0
2. Sınıf	1000-3000	60 - 75	0.5-2.0	5.0 - 10.0
3. Sınıf	3000 den fazla		2.0 dan fazla	
		75 den fazla		10.0 dan fazla

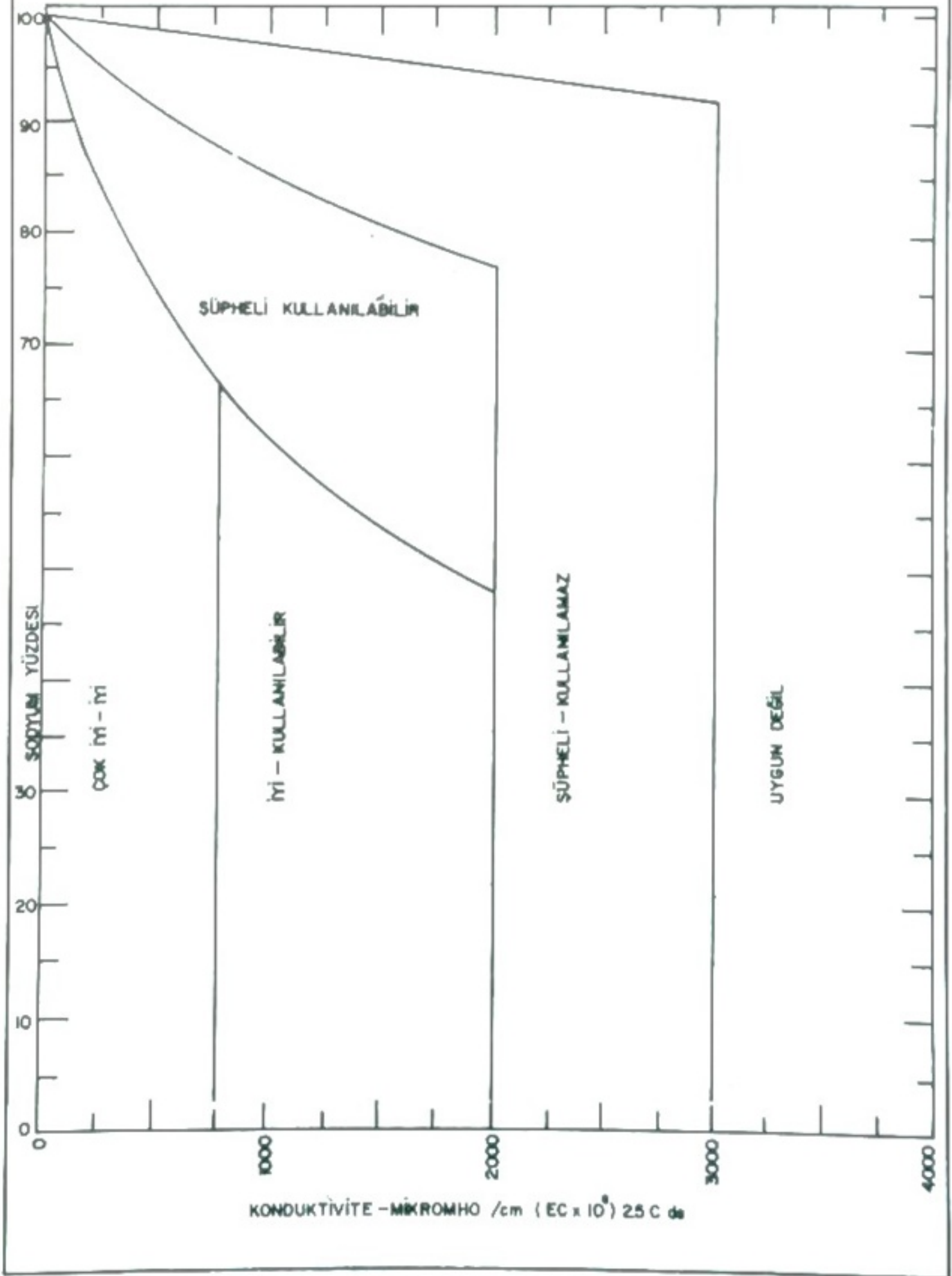
4.3.3. Wilcox Graflöi Sistemi

Bu sistem aslında scofield sisteminin biraz değiştirilmiş ve kesin sodyum sınırlarının kısmen yumuşatılmış şeklidir. Aynı şekilde EC ve % Na esasına dayanan bir sınıflamadır. Bu sistemde sular,

1. Çok iyi - iyi
2. İyi - kullanılabilir
3. Şüpheli - ~~kullanılabilir~~
4. Şüpheli - kullanılamaz
5. Uygun değil

şeklinde 5 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar için verilen EC ve % Na limitleri şekil : 13 de verilen grafikte gösterilmiştir.

Şekil: 13_ WILCOX DİYAGRAMI



4.3.4. A.B.D. Tuzluluk Laboratuvarı Sistemi

Bu sistem, Sodyum yüzdesi yerine, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) kavramını getirmektedir. Daha önce bahsedildiği gibi, SAR kavramı sodyum tehlikesinin tahmininde, % Na dan daha uygundur.

Bu sistem, suları SAR ve EC değerlerine göre 16 sınıfa ayırmıştır. Şekil : 14 de verilen grafikte bu sınıfların EC ve SAR limitleri görülmektedir. Bu sistem diğerlerinden karışık gibi görülmekle birlikte, suların uygunluğunun tayininde daha kesin bilgi verdiği için en çok kullanılan sistemdir.

A.B.D. laboratuvarı sisteminde geçen tuzluluk ve sodyum sınıflarının anlamı şu şekildedir :

C1 : Az tuzlu suları gösterir. EC değeri 0-250 arasındadır. Çoğu topraklarda her türlü bitkinin sulanmasında kullanılabilir.

C2 : Orta derecede tuzlu suları gösterir. EC değeri 250-750 arasındadır. Orta derece bir yıkama varsa, tuzluluk kontroluna gerek kalmaksızın, tuza orta derecede dayanıklı bütün bitkilerin sulamasında kullanılabilir.

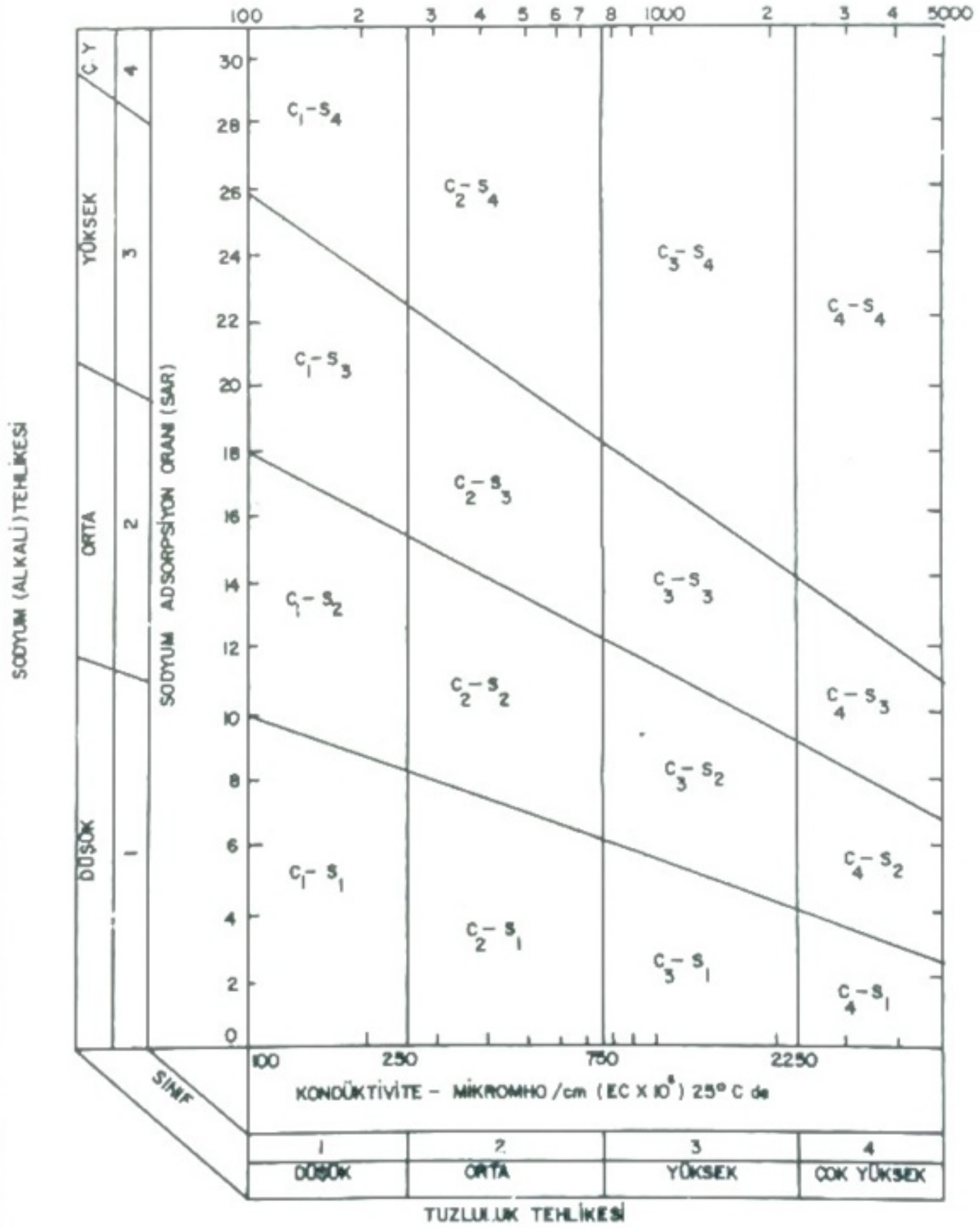
C3 : Yüksek tuzlu, EC değeri 750-2250 arasında suları gösterir. Drenaj durumu iyi olmayan topraklarda ve tuza hassas bitkiler için kullanılmamalıdır. Tuza dayanıklı bitki seçilerek ve tuz kontrolu yapılarak kullanılabilir.

C4 : Çok yüksek tuzlu, EC değeri 2250-5000 arasında suları ifade eder. Normal şartlarda sulamaya uygun değildir. Yüksek permeabilite, çok iyi drenaj, tam yıkamayı sağlayacak kadar bol sulama ve tuzluluğa çok dayanıklı bitki seçimi gibi özel hallerde kullanılabilir.

S1 : Az Sodyumlu suyu gösterir. Bu sınıftaki bir su sodyum tehlikesi yaratmaksızın kullanılabilir.

S2 : Orta sodyumlu suyu temsil eder. Fazlaca değişebilir sodyum var demektir. İnce yapılı topraklarda, özellikle jips yönünden fakir topraklarda, özellikle jips yönünden fakir topraklarda, önemli bir sodyum tehlikesi gösterebilir. Ancak bol jipsli ve geçirgen topraklarda kullanılabilir.

Şekil:14 - ABD TUZLULUK LABORATUARI DİYAGRAMI



S3 : Yüksek sodyumlu suları gösterir. Birçok toprakta sodyum tehlikesi yaratır, sodikleşmeye yolaçar. Bol jipsli topraklarda, çok iyi yıkama ve suya organik maddeler katmak üzere kullanılırsa sodyum tehlikesi önlenabilir.

S4 : Çok yüksek sodyumlu suları ifade eder. Sulama amaçlarına uygun değildir. Ancak tuzluluğun orta ve düşük olması, jipsle birlikte kullanılarak suda kimyasal değişiklikler yapılması gibi çok özel bazı hallerde kullanılabilir.

4.3.5. Efektif Tuzluluk Sistemi

Yukarıda anlatılanlara göre daha yeni bir sistem olan bu sistemde sular üç sınıfa ayrılmıştır. Ancak sınıflamada toprağın fiziksel özellikleri de dikkate alınarak limitlere değişkenlik getirilmiştir. Efektif tuzluluk (bölüm 4.2.7) mek/l. olmak üzere, sınıflandırma şöyledir :

<u>Toprağın Durumu</u>	<u>I.Sınıf</u>	<u>II.Sınıf</u>	<u>III.Sınıf</u>
- Geçirimli toprak	7 den az	7 - 15	15 den fazla
- İnce daneli fakat geçirimli	5 den az	5 - 10	10 dan fazla
- Geçirimsiz topraklar	3 den az	5 - 5	5 den fazla

Bu sistemde 3. sınıfa giren bir su genellikle sulamaya uygun sayılmaz. 2.sınıf sular ise özel uygulamalar (drenaj, bitki seçimi, toprak ıslahı v.b.) gerektirir.

4.3.6. Artıksal Sodyum Karbonat (RSC) Sistemi

Efektif tuzluluk kadar yaygın ve kıymetli bir sistem değildir. Paydası ve limitleri üzerinde tartışmalıdır. Bu bakımdan tek başına bu sistemle sular hakkında karar vermek doğru değildir. Ancak Türkiye'de çok kullanılan sistemlerden birisidir.

Bu sistemde sulama suyu sınıfları şöyledir :

- 1.sınıf : RSC 1.25 den az
- 2.sınıf : RSC 1.25 - 2.50 arasında
- 3.sınıf : RSC 2.50 den fazla

Yeraltısularında RSC genellikle negatiftir. Ancak fazla bazik bazı sularda bu deger 2.5 den fazladır.

4.3.7. Langelier Saturasyon İndeksi Sistemi

Bu sistemde, bölüm 4.2.6 da verilen denge diyagramı kullanılarak okunan pHs degeri ile ESP (Değişebilir sodyum yüzdesi) hesaplanır. Suların hesaplanan ESP degerine göre sınıflaması şöyledir :

<u>Su sınıfı</u>	<u>Hesaplanan ESP</u>
1. Sınıf : Emniyetle kullanılır	10 ve daha az
2. Sınıf : Kullanılabilir	10 - 20 arası
3. Sınıf : Kullanılmaz	20 den fazla

ESP ile değerlendirme yapılırken, toprağın permeabilitesi drenaj karakteristikleri, yağış miktarı, bitki cinsi gibi faktörler de dikkate alınmalıdır.

4.3.8. Tuz İndeksi Sistemi

Tuz indeksi kavramı ve nasıl hesaplanacağı bölüm 4.2.8 de anlatılmıştır. Yapılan hesaplama sonucu bulunan tuz indeksi negatif ise, suların sulamaya uygun olduğu, aksi halde uygun olmadığı kabul edilmektedir.

4.3.9. Bor Kriterleri

Suda bulunan borun bitkiler için önemi ve zararı bölüm 1.6.13 de anlatılmıştır. Burada sadece suların bor miktarına göre sınıflaması ile bitkilerin bora karşı dirençleri verilecektir.

<u>Su sınıfı</u>	<u>Hassas</u>	<u>Bitkilerin bora karşı tepkisi</u> <u>Yarı dayanıklı</u>	<u>Dayanıklı</u>
1.Sınıf : Kullanılır iyi	0.0-0.5 mg/l	0.0 - 1.0	0.0 - 1.5
2.Sınıf : Kullanılabilir	0.5-1.12	1.0 - 2.25	1.5 - 3.35
3.Sınıf : Uygun değil	1.12 den fazla	2.25 den fazla	3.35 den fazla

Bazı bitkilerin bora karşı dirençleri Tablo:26 da verilmiştir.

Tablo : 26_ Bazı bitkilerin bora karşı direçleri

Direnç durumu (X) :	Hassas	Yarı dayanıklı	Dayanıklı
Etkili bor limiti :	<u>0,3 - 1,0 ppm</u>	<u>1,0-2,0 ppm</u>	<u>2,0-4,0 ppm.</u>
	Ceviz	Ayçiçeği	Kuşkonmaz
	Kuru fasulye	Patates	Hurma
	Erik	Pamuk	Pancar
	Armut	Domates	Yonca
	Elma	Bezelye	Glyöl
	Asma	Zeytin	Bakla
	İncir	Arpa	Soğan
	Kiraz	Buğday	Turp
	Şeftali	Mısır	Lahana
	Kayısı	Darı	Marul
	Karadut	Yulaf	Havuç
	Portakal	Kabak	
	Limon	Biber	

(X) Dayanıklılık listenin başından sonuna doğru azalacak şekilde sıralanmıştır.

İklim ve çevre şartları bitkilerin bora karşı dayanıklılığını belli ölçüler içinde etkiler.

Verilen bu değerler sulama suyundaki bor limitleridir. Genellikle toprak için mücade edilebilen bor limitleri, toprak karakteristiği ve işletme durumuna bağlı olarak suya göre biraz daha fazladır.

4.3.10. Eser Elementler İçin Kriterler

Sulama suyunda bulunabilen eser elementlerin bazıları, bitkiler üzerinde zehirleyici etki gösterirler. Tablo : 27 de sulama sularında eser elementler için limitler verilmiştir. Bu limitler hassas bitkilere göre konmuştur. Ancak, selenyumda olduğu gibi, bitkiler hayvan yemi olarak kullanılacaksa, limitler hayvanlara göre ayarlanmıştır.

Tablo : 27_ Sulama suları için eser element limitleri

<u>Element</u>	<u>Limit Değeri</u>	<u>Element</u>	<u>Limit Değeri</u>
Aluminyum	1.0	Kurşun	5.0
Arsenik	1.0	Lityum	5.0
Berilyum	0.5	Mangan	1.0
Bor	0.75	Molibden	0.005
Kadmiyum	0.005	Nikel	0.5
Krom	5.0	Selenyum	0.05
Kobalt	0.2	Kalay	..
Bakır	0.2	Tungsten	..
Florür	..	Vanadyum	10.0
Demir	..	Çinko	5.0

5. ENDÜSTRİ SUYU KRİTERLERİ

Endüstride, özellikle üretim safhasında başlıca girdilerden biri sudur. İstenilen miktarda suyun sağlanması yanında, sağlanan suyun arzu edilen kalitede olması da önemlidir.

Genellikle her sanayi dalında, proses gereklerine bağlı olarak, özel nitelikte suyu ihtiyaç duyulur. Aranılan suyun, bulunan doğal sudan farklı olması halinde, kimyasal tasfiye metotları uygulanarak su istenen niteliğe kavuşturulur. Kimyasal tasfiye metotları genellikle pahalı olduğundan, öncelikle bulunan suyun istenen nitelikte veya ona en yakın nitelikte olması arzu edilir.

Endüstride kullanılacak sular için tek bir standart verilemez. Çünkü değişik sanayi dallarında, hatta aynı sanayi içindeki değişik iki süreçte farklı nitelikte sular gerekebilir. Bu yüzden kullanma yeri ve amaçına göre kriterler değişiktir. Kriterlerin belirlenmesi çoğu zaman özel bir çalışmayı ve bilgiyi gerektirir. Ancak burada fazla ayrıntıya girilmeden, başlıca endüstri dallarında kullanılan suların genel özellikleri ile bu sular için konulan limitler verilecektir. Böylece, en azından alternatif sular arasında bir seçim yapmak mümkün olacaktır.

5.1. Kazan Besleme Suyu

Son yıllarda buhar kazanlarının gücü (basınç, sıcaklık ve buharlaştırma kapasitesi) bir nâyla artmıştır. Ancak bu artışa paralel olarak, kazanları besleyecek sularda aranan nitelikler de değişmiştir. Düşük ve normal basınçlı kazanlarda zararsız olan bazı maddeler, yüksek basınçlı kazanlarda zararlı, hatta tehlikeli olmaktadır. Yüksek basınçlı kazanlarda kullanılan sular, saf suya yakın temizlikte olmalıdır.

Kazan besleme suyu öncelikle buharlaşma sonucu kazan cidarında hiç tortu bırakmamalı, yani suda sertlik maddeleri bulunmamalıdır.

Aksi halde, oluşacak kazan taşı, hem ısı iletimini azaltır, hem de bazı noktalarda ısı yoğunlaşmasına yolaçar. Oluşan kazan taşı çatladığı takdirde, ısının aniden suya geçmesi ile suyun parçalanmasına sebep olabilir.

Sertlik veren maddelerin bulunması, ayrıca boruların tıkanmasına da yolaçar. Kazan ve borularda oluşan tortuların altında, farkedilemeyen korozyonlar meydana gelir. Sonuç olarak kazan sularında, sertlik maddeleri olan Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+3} , Al^{+3} , Mn^{+2} istenmez.

Kazan besleme sularındaki koroziif gazlar, özellikle O_2 ve CO_2 korozyona yolaçtığından istenmezler. Kazan besleme suyunda CO_2 karbonat ve bikarbonat çeklinde (bağılı CO_2) bile olsa koroziif etkilere sahiptir.

Toplam tuz miktarı, kazanlar için olduğı kadar, elde edilecek buharın kalitesi yönünden de önemlidir. Kazan basıncına göre toplam tuz miktarı belli sınırları geçmemelidir.

Kazan suyunun alkalinitei artarsa suyun köpürmesine ve buharının tuzlu olmasına sebep olur.

Özetliyecek olursak, iyi bir kazan suyunda, sertlik veren maddeler, kolloidal maddeler, O_2 , CO_2 bulunmamalı, toplam tuz miktarı ve alkalinite mümkün olduğı kadar düşük tutulmalıdır.

Aşağıdaki tabloda, değişik basınçlardaki kazanlar için, kazan suyu kalite limitleri verilmiştir.

Tablo : 28 _ Basınca göre kazan sularının kalite limitleri , mg/l.

Basınç, Atmosfer :	0-10	10-17	17-27	27-+
Bulanıklık	20	10	5	1
Renk	80	40	5	2
Kullanılan oksijen	15	10	4	3
Çözülmüş oksijen	2,0	0,2	0,0	0,0
Hidroden sülfür	5	3	0	0
Toplam sertlik, (CaCO ₃)	80	40	10	2
Na ₂ SO ₄ /Na ₂ CO ₃ oranı	1:1	2:1	3:1	3:1
Alüminyum oksit	5,0	0,5	0,05	0,01
Silis	40	20	5	1
Eikarbonat	50	30	5	0
Karbonat	200	100	40	20
Hidroksit	50	40	30	15
Toplam katılar (x)	3000-500	2500-500	1500-100	50
pH (en düşük)	8.0	8.4	9.0	9.6

x : Alt ve üst limitler artan basınca ve kazan tipine göre değişmeyi gösterir.

5.2. Soğutma Suyu

Endüstride sarfedilen suyun çoğu soğutma amacı ile kullanılmaktadır. Soğutma suyunda aranan nitelikler çok fazla değildir. Ancak gene de, soğutma suyunda bulanıklık, geçici sertlik veren maddeler, yosun ve bakteriler ile CO₂ bulunmamalıdır.

Geçici sertlik veren maddelerin bulunması halinde, soğutma suyunun ısınması ile, soğutma yüzeylerinde taş (CaCO₃) oluşur. Bu durum ısı iletimini engeller, tıkanmalara sebep olur. Aynı şekilde yosun, bakteri ve bulanıklık veren maddeler de tıkanmalara yolaçar.

Bunlardan başka soğutma suyunun sıcaklığının düşük ve yaz-kış sabit olması arzu edilir. Bu bakımdan yeraltı suları soğutma amacına, yerüstü sularından daha uygundur.

Kullanma yerine ve prosesin özelliklerine göre değişmezle birlikte, genel olarak soğutma sularında şu limitler aranır.

Tablo : 29 _ Soğutma suyu kalite limitleri, mg/l.

Bulanıklık	50
Toplam sertlik (CaCO_3 olarak)	50
Geçici sertlik	0,0
Demir	0,5
Mangan	0,5
Demir + Mangan	0,5

5.3. Tekstil Sanayii

Tekstil proseslerinde kullanılacak suya, süspansiyon maddeleri, bulanıklık, renk, mangan, sertlik maddeleri ve organik maddelerin bulunması istenmez. Özellikle yıkama işlerinde kullanılan suya demir ve mangan bulunmamalıdır. Çünkü bu elementlerin çok düşük miktarları bile, kumaş veya iplik üzerinde kahverengi-siyah lekeler oluşturur. Sertlik maddeleri ise, sabunla yapılan çeşitli yıkama işlemleri sırasında, tekstil ürünleri üzerinde, kesilmiş süt gibi çökerler.

Nitrat ve nitrit yün ve ipeğin boyanmasında son derece zararlı etki gösterir. Organik maddeler ve mikroorganizmalar ise tekstil üzerinde lekelenme ve kokuların artmasını kolaylaştırır.

Tekstil endüstrisinde kullanılacak sularda aranan kalite limitleri aşağıda verilmiştir.

Tablo : 30_ Tekstil Endüstrisi su kalite limitleri, mg/l.

Bulanıklık	0,3-25
Renk	0-70
Demir-Mangan	0,2-1,0
Demir	0,1-1,0
Mangan	0,05-1,0
Sertlik (CaCO_3 olarak)	0-50
Kullanılan O_2 miktarı	0
Ağır metaller	-
Kalsiyum	10
Magnezyum	5
Sülfat	100
Klorür	100
Bikarbonat (CaCO_3 olarak)	200

5.4. Suni İpek ve Asetat İpliği

Suni ipek ve asetat ipliği üretimi bol su gerektiren bir endüstri dalıdır. Öyle ki, bir kg. suni ipek üretmek için yaklaşık 850 lt ; bir kg. asetat ipliği üretmek için de 1300 lt. suya ihtiyaç vardır.

Bu endüstri dalında kullanılacak suyun başlıca özelliği yumuşak olmasıdır. Özellikle hammaddenin hamurlaştırılması işleminde çok yumuşak su kullanılmalıdır.

Ayrıca demir, mangan, renk ve bulanıklık maddeleri istenmez. Aşağıdaki tabloda, viskon ipeği üretiminde, hamurlaştırma işlemi ve iplikte kullanılan sular için ayrı ayrı kalite limitleri verilmiştir.

Tablo : 31_ Suni ipek endüstrisi için su kalite limitleri, mg/l.

	<u>Hamurlaştırma</u>	<u>İmalat</u>
Bulanıklık	5.0	0,3
Renk	5.0	-
Sertlik (CaCO_3 olarak)	8.0	55
Demir + Mangan	0,05	0,0
Demir	0,05	0,0
Mangan	0,03	0,0
Toplam Katılar	100	-
Alkalinite (CaCO_3 olarak)	50-75	-
pH	-	7,8-8,3
Aluminyum oksit	8 den az	-
Silisyum, SiO_2	25 den az	-
Pakır	5 den az	-

5.5. Dericilik

Bir el sanatı olarak uzun bir geçmişi olan dericilik günümüzde ayrı endüstri dalı halinde gelişmiştir.

Deri endüstrisinin çeşitli proseslerinde, özellikle debağlanma işleminde kullanılacak suda bazı nitelikler aranır. Bu suda demir ve mangan bulunmamalı, CO_2 , karbonat sertliği (= geçici sertlik), renk ve bulanıklık maddeleri çok az olmalıdır.

Demir ve mangan deride leke yapar ve rengini bozar. Bikarbonat ve CO_2 ise karbonat çökmesine yol açar ve bu yüzden boyama işlemini güçleştirir. Ayrıca yüksek konsantrasyonlarda bikarbonat hayvan derilerinin kabarmasına sebep olur. Sertlik ise sepi ekstaktının filtrasyonu ve boyama gibi proseslerde zararlı olduğundan istenmez.

Deri endüstrisinde kullanılacak suyun kalite limitleri şöyledir :

Table : 32 _ Deri endüstrisinde su kalite limitleri, mg/l.

Bulanıklık	20
Renk	10-100
Sertlik, CaCO_3 olarak	50-513
Alkalinite " "	128-135
pH	6.0-8.0
Demir + Mangan	0.2
Demir	0,1-0,2
Mangan	0,1-0,2

5.6. Kağıt Sanayii

Kağıt endüstrisinde kullanılacak suyun kalitesi oldukça önemlidir. Çünkü üretilecek kağıdın özellikleri, suyun kalitesi ile yakından ilgilidir.

Bu endüstride suyun kalitesi, bilhassa kesilmiş odun parçalarının ısı ile yumuşatılması ve kağıt namurunun hazırlanması safhalarında daha önemlidir. Bu proseslerde kullanılacak sularda süspansiyon maddeleri, sertlik maddeleri, demir, mangan, silisyum ve organik maddeler istenmez.

Süspansiyon maddeleri kağıdın parlaklığını azaltır, rengini etkiler ve homojen yapısını bozar. Sertlik maddeleri, çeşitli reaksiyonlarla kağıt üzerinde CaCO_3 şeklinde çökelmelere yolaçar.

Çözünmüş gazlar, özellikle CO_2 , proses teçhizatında korozyona sebep olduğundan istenmez. (Bilindiği gibi yumuşak sular, normal sulara göre çok daha koroziftir.)

Aşağıda tabloda, Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI) tarafından tavsiye edilen su kalite limitleri verilmiştir.

Tablo : 33_ Kâğıt endüstrisinde kullanılacak su için kalite limitleri, mg/l.

	Saman Kağıdı	Soda ve Sülfat kağıt hamuru	Kraft kağıdı		Kaliteli Kağıt
			Ağartma	Ağartma Dışı	
Bulanıklık, SiO_2 (x)	50	25	40	100	10
Renk, Pt birimi	30	5	25	100	5
T.Sertlik, $CaCO_3$	200	100	100	200	100
Mg sertliği, $CaCO_3$	-	50	-	-	50
Ca sertliği, $CaCO_3$	-	50	-	-	-
Metiloranj alkalinitesi, $CaCO_3$	150	75	75	150	75
Demir	0,3	0,1	0,2	1,0	1,0
Mangan	0,1	0,05	0,1	0,5	0,05
Silisyum, SiO_2	50	20	50	100	20
Top. çözünmüş katılar	500	250	300	500	200
Serbest CO_2	10	10	10	10	10
Klorür	75	75	200	200	-
Artık klor, Cl_2	-	-	-	-	2,0

(x) Bulanıklık kum tanelerinden gelmektedir.

5.7. Gıda ve Konserve Sanayii

Gıda ve konserve endüstrisinde, üretilecek maddelerin kalitesi ile, üretimde kullanılan suyun kalitesi arasında doğrudan ilişki vardır.

Bu endüstri dalında kullanılacak suda bulunan safsızlık maddeleri, üretilen gıdalarda istenmeyen koku, tad veya renk oluşturur; tortu, katılaşma veya çürümelere sebep olur. Ayrıca besindeki doğal vitaminlerin bozunmalarına yolaçar.

Konservacilik seri sular, kuru fasulye ve bezelye gibi sebzelerin sertleşmesine sebep olur. Bakır, demir, mangan ve diğer ağır metaller ise yukarıda belirtilen sebepler yüzünden istenmez.

Gıda ve konserve endüstrisinde kullanılacak sularda aranan kalite limitleri şöyledir.

Tablo : 34_Gıda ve Konserve Endüstrisi için su kalite limitleri,mg/L

Toplam çözünmüş katılar	850
Bulanıklık	1.0-10
Tad ve koku	Yok
Sertlik, CaCO_3	50-85 Genel 100-200 Sebze ve meyve 25-75 Baklagiller
Demir	0,2
Mangan	0,2
Demir + Mangan	0,2-0,3
Sodyum klorür	1000-1500
pH	7,5 veya daha fazla
Hidrojen sülfür	1,0
Florür	1,0
Alkalinite, CaCO_3	30-250
Nitrat	15
Amonyak	0,5

5.8. Şeker Sanayii

Şeker fabrikalarında su başlıca, kazanlarda soğutmada ve şeker difüzyonunda kullanılır. kazan ve soğutma suyu için kriterler daha önce verilmiştir. Şekerin difüzyonla alınmasında kullanılacak sulara aranan kalite limitleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Bu endüstri dalında kullanılacak sulara, genel olarak gıda endüstrisinde olduğu gibi, koku, tad, bulanıklık, sertlik maddeleri, demir ve mangan istenmez. Tesiste korozyon yapacağı için O_2 ve CO_2 bulunması arzu edilmez.

Tablo: 35_ Şeker endüstrisi için su kalite limitleri, mg/l.

Kalsiyum	20 mg/l.
Magnezyum	10 "
Sülfat	20 "
Klorür	20 "
Bikarbonat, $CaCO_3$ olarak	100 "
Demir	0,1 "
Mangan	0,05 "

5.9. Süt Endüstrisi

Süt endüstrisinde su özellikle pastörize cihazlarının sütle temas eden çeşitli ekipman ve süt kaplarının yıkanmasında kullanılır. Bu suyu en azından "çok iyi" içme suyu özelliğini taşıması gerekir.

Bakteriyolojik olarak temiz olmıyan sular, sütte zararlı çökelmelere yolaçacağı için istenmez. Mililitresinde 25 den az organizma bulunan sular bakteriyolojik olarak "çok iyi" , 100 organizma bulunan sular "iyi", daha fazla organizma bulunan sular ise "uygun değil" şeklinde sınıflandırılır.

Bu endüstride kullanılacak suda hiç bakır bulunmamalı, demir ve mangan ise 0,1 mg/l.yi geçmemelidir. Çünkü bu elementler, yağlı bileşiklerin oksidasyonu ve süt bileşenlerinin hidrolizinde katalizör etkisi gösterirler. Yağlı bileşiklerin bozunması ise, süt ürünlerinde, balık veya petrol tadına benzer bir tad ve koku verir.

Süt endüstrisinde kullanılacak suda aranan kalite limitleri aşağıdadır :

Tablo : 36_ Süt endüstrisi için su kalite limitleri, mg/l.

Kuru kalıntı	500 den az
Nitrat, N_2O_5	30
Nitrit	-
Amonyak	eser
Klorür	30
Sülfat	60
Organik madde, $KMnO_4$	12
Sertlik, $CaCO_3$	180
Demir	0,1-0,3
Mangan	0,03-0,1
Bakır	-
Renk	-
Koku	-

5.10. Mesrubatlar

Lu endüstri dalında kullanılacak sular, en azından içme suyu standartlarına uymalıdır. Ancak renk, koku, tad, bulanıklık, demir, mangan ve organik madde ile mikroorganizma sayısı bakımından limitler daha dar tutulmalıdır. Özellikle mikroorganizmalar, meyve ösü kullanılan mesrubatlar içinde çabucak çoğaldıkları için önemlidirler.

Lu endüstride kullanılacak su için tavsiye edilen kalite limitleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo : 37_ Meşrubat yapımında kullanılacak su için kalite limitleri,

Bulanıklık	1.0-2.0
Renk	5.0-10.0
Koku ve tad	- eser
Alkalinite, CaCO_3	50-128
Top. çözünmüş katılar	850
Sertlik, CaCO_3	200-250
Demir	0.1-0.2
Mangan	0.2
Klorür	250
Sülfat	250
Florür	0.2-1.0
Hidrojen sülfür	0.0-0.2
Organik madde	eser
Yosun ve tekhücreliler	-
Kullanılan oksijen	1,5

5.11. İnşaatlarda Beton Karıştırma Suyu

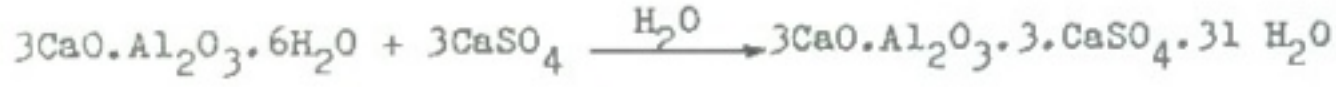
Birçok kimyasal madde beton üzerinde korozyif etki yapar. Beton ve harcın ana maddesi olan çimento üzerinde etkili olan çeşitli maddeler, beton üzerinde de etkili olurlar.

Betona etki eden maddeler çok çeşitlidir. Su, zemin ve gazlar bunların bağlıcılarıdır.

Beton ile temas eden su içindeki bazı maddeler betonu parçalayabileceği gibi, beton karıştırma suyu ile birlikte beton içine giren bazı maddeler de betonu parçalayabilir.

Beton için, su yoluyla gelebilecek en tehlikeli iyon sülfattır. Karıştırma suyunda, betonla temas eden su veya zeminde bulunan fazla sülfat (jips) beton ve harç için son'derece tehlikelidir.

Sudaki çözünürlüğü çok fazla olan jips, çimentonun en önemli bileşenlerinden biri olan trikalsiyum aluminat ile reaksiyona girerek, trikalsiyum sülfat aluminat oluşturur.



Çimento basili de denilen bu tuz, beyaz renkte ve iğne kristallidir. Görüldüğü gibi 31 molekül kristal suyu ihtiva eder. Bu yüzden meydana gelirken çok fazla hacim genişlemesi olur ve poröz hale gelen beton parçalanır. Sülfat korozyonu denen bu olay sonunda, açık gri renk alan beton elle parçalanabilecek kadar dayanıksızdır.

Beton temas suyundaki sülfat karıştırma suyundaki sülfattan daha koroziftir. Özellikle su hareketli ise daha tehlikeli olmaktadır.

Sülfürler de sulu ortamda sülfat gibi etki ederler.

Alman normlarında (DİN 4030 ve DİN 1045E) yeraltısuyunda 330 mg/l. den fazla $\text{SO}_3^{=}$ bulunması halinde sülfata dayanıklı çimento kullanılması tavsiye edilmiştir.

Sülfat konsantrasyonuna göre korozyonun derecesi hakkında kesin bağıntılar yoktur. Kabul edilen limitler ülkelere göre farklıdır. Ancak U.S. Bureau of Reclamation tarafından, su ve topraktaki sülfat konsantrasyonu ile korozyonun derecesi aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Zemin içindeki Sülfat % si,	Suyun sülfat konsantrasyonu, $\text{SO}_3^{=}$	Korozyon durumu
0-0,083	0-125	Zararsız
0,083-0,17	125-830	Az korozif
0,17-0,47	830-1660	Korozif
0,47-..	1660-...	Çok korozif

Sülfat konsantrasyonu yeterince yüksek ise çimento dozajı artırılmalı ve sülfata dayanıklı özel çimentolar kullanılmalıdır.

Su içinde bulunan CO_2 de karbonik asit meydana getirerek beton üzerinde korozyif etki gösterir. Su içindeki serbest CO_2 , 30 mg/l.den az ise zayıf etkili, 30-60 arasında yeterince etkili, 60 dan fazla ise çok kuvvetli etkili olmaktadır.

6. SU KALİTESİNİN LİTOLOJİ İLE İLİŞKİSİ

6.1. Yerkabuğunun Bileşimi

Yerkabuğunu oluşturan belli bağlı maddelerin ortalama kimyasal bileşimi, yeraltısuyu kimyası açısından oldukça önemlidir. Çünkü doğal suyun bileşimi, dolaylı olarak yerkabuğunun bileşimine bağlıdır. Bu bakından, su kimyası ile ilgilenenlerin, yerkabuğunun kimyasal bileşimi hakkında genel bilgileri olmalıdır.

Dünyanın en dış kısmında, 40 km. derinliğe kadar, silisyum ve alüminyum bileşikleri çok fazladır. Bu yüzden Si-Al olarak adlandırılan bu kısımda ortalama yoğunluk 2.3 g/cm^3 olup silikat ve karbonat türünde hakimdir.

Daha derinlerde silisyum yanında magnezyum ve demir bileşikleri daha fazladır. Si-Ma olarak adlandırılan bu kısımda derinlere doğru yoğunluk artar ve 5.8 g/cm^3 e kadar ulaşır.

Yüzeyden itibaren Si-Al ve Si-Ma tabakalarına litosfer (taşküresi) adı verilir. Litosferde kısmen daha fazla bulunan elementler şunlardır:

O, Cr, W, U
C, Si, Ti, Zr, Hf, Th
H, F, Cl, Mn, Br, I, Fe
B, Al, Sc, Y, Ce
Li, Na, K, R, Cs
Be, Mg, Ca, Sr, Ba
P, V, Nb, Ta

Litosferin altında bir sülfür oksit küresi bulunur. Ortalama yoğunluğu 8 g/cm^3 olan bu kısımda, periyodik sistemin kalkofil elementleri çoktur.

Dünyanın çekirdeği diyebileceğimiz en iç kısımda yoğunluk 8-12 g/cm^3 arasındadır. Bu bölümde ağır metaller çoğunlukta olup Ni-Fe çekirdeği adını alır.

Su kimyası açısından ancak dünyanın Si-Al dediğimiz en dış kısmı önem taşır. Bu kısımdaki taşlar minerolojik yapı, kimyasal bileşim, tegekkül şekli veya jeolojik durumlarına göre değişik şekillerde sınıflandırılabilirler. Yaygın bir sınıflandırma şekli şöyledir:

1- MAGMATİK KAYAÇLAR : Bir magmadan derinlerde veya yüzeyde katılaşmış taşlardır. Derinlik taşları, damar taşları, yüzey taşları olarak kendi arasında üçe ayrılır.

2- TORTUL KAYAÇLAR : Kimyasal, biyolojik veya mekanik olaylar sonucunda çökme ile meydana gelen kayaçlardır. Oluşum şekline bağlı olarak kat yapısı gösterirler. (kimyasal, biyolojik ve mekanik sedimanlar.)

3- METAMORFİK KAYAÇLAR : Magmatik veya tortul kayaçların ısı, basınç veya yeni madde ilavesi ile fiziksel değişime uğraması ile oluşan kayaçlardır.

Ayrıca tüfler orijinleri yönünden magmatik (Erüptif), kat yapısı gösterdikleri için sedimanter olup ayrı bir grup olarak sayılabilir.

"Dünya kabuğunu esas itibarıyla Erüptif taşlar teşkil eder. Sedimanlar bunların üzerinde büyüklü küçüklü delikleri olan ince bir örtüden ibarettir."

Bilinen minerallerin sayısı binden fazladır. Ancak taşları oluşturan asli minerallerin sayısı oldukça azdır. Bu minerallerde bulunan elementlerin hesaplanması ile aşağıdaki tablo elde edilmiştir.

<u>Element</u>	<u>% Ağırlık</u>	<u>% Hacim</u>
Oksijen	46.59	91.70
Silyum	27.72	0.80
Aluminyum	8.13	0.76
Demir	5.01	0.68
Magnezyum	2.09	0.56
Kalsiyum	3.63	1.48
Sodyum	2.85	1.60
Potasyum	2.60	2.14
Titan	<u>0.61</u>	<u>0.22</u>
	99.20	99.94

Tortul kayaçların en önemlileri olan kil, kalker ve greinin kimyasal analiz sonuçları ise şu şekildedir ;

<u>Bileşikler</u>	<u>Kil</u>	<u>Kalker</u>	<u>Gre</u>
Si O ₂	58.11	1.65	78.70
Al ₂ O ₃	15.40	0.46	7.53
Fe ₂ O ₃	4.02	0.38	4.39
Fe O	2.45	-	0.18
Mg O	2.44	0.11	1.32
Ca O	3.10	54.23	1.29
Na ₂ O	1.30	0.28	1.14
K ₂ O	3.24	0.36	2.24
H ₂ O	3.66	-	2.75
C O ₂	2.63	42.76	0.48

6.2. Yeraltısuyu Kalitesi İle Litolojinin İlişkisi

Yağış halinde yeryüzüne düşen su, daha önce anlatıldığı gibi, oldukça az tuzlu, bazı hallerde saf suya yakın bileşimdedir. Çözebileceği kadar tuz çözmemiş olan bu sular doygunluğa kadar tuz çözmeye çalışırlar. Çözecekleri tuzun türü ve miktarı, temasta oldukları formasyonun cinsine, suda çözünürlüğüne, temas süresine, fiziksel şartlara (sıcaklık, basınç, yüzey genişliği v.s) bağlıdır.

Bu faktörler içinde suyun oransal bileşimini, yani mevcut iyonların miktarını etkileyen en önemli değişken litolojidir. Diğer değişkenler ancak, iyonların yüzdesi sabit kalmak üzere miktarlarının (mutlak değerlerinin) artması veya azalması yönünde etki ederler. Başka bir deyişle, iyonların oransal yoğunluğunu litoloji, iyonların miktarlarını ise fiziksel ortam belirler.

Öyle bir örnekle durumu açıklayalım : Kireçtağlarından alınan bir sudaki iyonların bileşimi ile jipsli zeminden alınan suyun bileşimi farklıdır. Bu fark litoloji ile ilgilidir. Ancak kireçtağından alınan bütün suların tuzluluğu aynı değildir. Oran sabit kalmak üzere, bir kireçtağı suyundaki iyonların mutlak değeri, sayılan diğer faktörlere bağlı olarak, başka bir kireçtağı suyuna göre birkaç kat daha fazla olabilir.

Kimyasal anlamda bir çözelti olan doğal suda, anyon-katyon dengesi bulunmalıdır. Yani anyon ve katyonlar ekivalent olarak birbirine eşit olmalıdır. Ancak sudaki anyonların bir kısmı litolojik olmayan kaynaklardan oluşur. Mesela sudaki bikarbonatın çoğu havadaki ve biyokimyasal aktivite sonucu toprakta serbest kalan karbondioksitin suda çözünmesiyle oluşur. Teorik olarak, orta derecede tuzlu bir sudaki bikarbonatan yarısı karbonatlı kaynakların çözünmesinden, yarısı da toprak, hava ve diğer CO₂ kaynaklarından gelmektedir.

Diğer taraftan klorür ve sülfat gibi anyonlar, genel olarak bazı kayaların erimesi ile suya geçerler. Buna rağmen sülfür doksijenasyonu, biyolojik oribelli oksidasyon ve redüksiyon olaylarından büyük ölçüde etkilenir. (Bölüm 6.3.3. sülfat indirgenmesi) Bazı hallerde atmosferik klorür doksijenasyonu da suların klorür konsantrasyonunu bir hayli etkileyebilir.

Sonuç olarak, sulardaki anyonların, bir kısmı litolojik olmayan faktörlerle oluşmaktadır.

İster litolojik kökenli olsun, ister litoloji dışı etkilere gelmiş olsun, suda bulunan iyonlar birçok etkilere açıktır. Bu yüzden suyun iyonik bileşimi zamanla değişebilir. Benzer olmayan suların karışması, katyon değişimi, adsorpsiyon, biyokimyasal olaylar, indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonları gibi karmaşık faktörlerin etkisi ile suyun bileşiminde değişme olabilir. (Bölüm 6.3. Suyun Kimyasal Bileşimini Değiştiren Olaylar)

Litoloji ile suyun kimyasal bileşimi arasında ilişki kurarken, kayaların cinsini, dokusunu ve sudaki çözünürlüğünü bilmek gerekir. Bazı kayalar suya karşı son derece dirençli, bazıları da nisbeten fazla çözünebilen minerallerden oluşur. (Başlıca minerallerin kimyasal formülleri ve suda çözünürlükleri Ek 2 de verilmiştir.) Ancak bazı kayalar tiplerinde bulunan küçük birimler, suyun bileşimini ana kayaya kadar, hatta daha fazla etkileyebilirler. Örnek olarak, karbonat çimentolu bir kumtaşı, kuvars şeklinde silisten oluşmakla beraber, kalsiyum ve bikarbonat iyonlarının hakim olduğu bir su boşaltabilir. Çünkü çimento maddesi olan CaCO_3 ın sudaki çözünürlüğü kuvarstan daha fazladır.

Aşağıdaki bölümde, başlıca formasyonlara ait suların genel kimyasal özellikleri verilmiştir.

6.2.1. Granit ve Gnays Suları

Granit ve Gnays'ın esas mineralleri ve bu minerallerin suya verebileceği elementler şunlardır :

Kuartz	: Si O_2
Orthoze	: Si O_2 , K
Plajiolklas	: Si O_2 , Na, Ca
Biotit	: Fe, K
Luskovit	: K

Buradaki katyonları dengeleyen anyon, hava ve zemindeki CO_2 etkisi ile oluşan bikarbonattır. Buna göre granit ve gnays suları silis, alkali karbonatlar ve kalsiyum karbonat ihtiva eder.

Granit suları çok az tuzludur. (EC düşüktür) Çünkü granitlerin suda çözünürlüğü son derece azdır. Granit sularında ilk çıkışta daima CO_2 fazlalığı vardır. Bu yüzden ilk çıkışta asidik özellikte ($\text{pH} < 7$) dirler. Çıkışı takiben CO_2 kaybı olur ve klevillerle dengeye gelerek bazik duruma geçebilirler.

Granit üzerinde suyun çözücü etkisi az olduğu için bu sulara kuru kalıntı da azdır.

Genellikle pH 7 den küçük olduğu için bu sulara birkaç mg/l ye kadar demir bulunabilir. Ayrıca 10-30 mg/l kadar silis bulunur. Ca^{+2} ve Mg^{+2} genellikle sodyumdan daha az bulunmakla beraber sodyuma yakındır. $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ ve $\text{Cl}^{-}/\text{Na}^{+}$ oranları birden küçüktür. Cl^{-} ve $\text{SO}_4^{=}$ iyonları 2 mek/ l yi geçmez.

Aşağıda örnek olarak granitlerden çıkan iki kaynak suyunun kimyasal analiz sonuçları verilmiştir. Sonuçlar mg/l .dir.

EC	pH	Na^{+}	K^{+}	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Fe^{+2}	Al^{+3}	HCO_3^{-}	Cl^{-}	$\text{SO}_4^{=}$	SiO_2
120	7.6	7.0	2.1	15	1.9	0.07	0.02	76	0.3	1.1	22
65	6.3	5.5	1.6	7.0	0.6	0.0	0.03	40	0.2	0.0	29

6.2.2. Bazalt Suları

Bazaltlardan suya geçen en önemli element silisyumdur. Bazalt suları, granit sularına oranla daha fazla silisyum dioksit çözmüşlerdir. Ancak bazalt sularında hakim katyon kalsiyumdur. Buna rağmen Ca^{+2} konsantrasyonu 3, Mg^{+2} ise 2 mek/l.yi geçmez. Bu katyonları dengeleyen anyon, Granit sularında olduğu gibi bikarbonattır. Na^{+} , Cl^{-} ve $\text{SO}_4^{=}$ genellikle düşük olup 2 mek/l.yi geçmez. Bu sulara da granit sularında olduğu gibi $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+} > \text{Cl}^{-}$ dir. $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ ve $\text{Cl}^{-}/\text{SO}_4^{=}$ oranları bir dolayındadır.

Sonuç olarak bazalt suları az tuzlu ve kalsiyum-bikarbonatlı sulardır. Toplam tuz miktarı 400 mg/l civarındadır.

Aşağıdaki analizler Doğubeyazıt bazalt kaynaklarına aittir : İyon değerleri mek/l. olarak verilmiştir. SiO_2 mg/l.dir.

EC	pH	Na^+	K^+	$\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$	HCO_3^-	Cl^-	$\text{SO}_4^{=}$	SiO_2
300	8.0	1.17	0.16	1.80	1.86	0.32	0.86	24
500	7.0	1.33	0.06	3.10	4.25	0.20	1.04	33

6.2.3. Kireçtaşı ve Dolomit Suları

Bilindiği gibi kireçtaşı kalsiyum karbonattır. kireçtaşı soğuk suda 14-16 mg/l çözünürlüğe sahiptir. Ancak karbondioksitli suda çözünürlük artar. karbondioksit konsantrasyonu ile kireçtaşı çözünürlüğünün nasıl değiştiği şekil 7 de verilmiştir.

Yeraltısularında genellikle 20-25 mg/l CO_2 bulunur. Ancak bazı hallerde bu miktar çok daha fazla olabilir. (Bakınız ; Bölüm 1.6.22. Karbon Dioksit)

Kalkerin suda çözünürlüğü, gözeneklilik ve pekişmişlik ile de ilgilidir. Sık dokulu, gözeneksiz kalkerler daha az çözünürlükler.

Kireçtaşı sularında Cl^- ve $\text{SO}_4^{=}$ oldukça azdır. Bir baz değişmesi olmamış ise Na^+ ve Cl^- değerleri hemen hemen aynıdır. Kuru kalıntı ise çok ender olarak 500 mg/ l yi geçer. (Bakınız Tablo : 6 analiz no: 3)

Kireçtaşıdan alınan yeraltısuyundan Mg/Ca oranı genellikle 0,5 den küçüktür.

Dolomit suları da, genel özellikleri ile kireçtaşı sularına benzerler. Ancak dolomit sularında $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ oranı daha yüksek ve çoğu zaman birden büyüktür.

Aşağıdaki analizlerden ilki kireçtaşı, ikincisi dolomit sularına aittir. (Birim mek/l.) Bölüm 1.6.6 ve 1.6.7 de konu ile ilgili başka örnekler de verilmiştir.

EC	pH	Na^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	HCO_3^-	Cl^-	$\text{SO}_4^{=}$
550	7,5	0,62	0,08	4,20	0,40	4,40	0,28	0,62
506	7,9	0,30	0,05	1,50	2,90	3,61	0,50	0,74

6.2.4. Jipsli Zemin Suları

Jipsin kimyasal formülü $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ şeklindedir. Jipsin suda klonen kolay çözünbilmesi yüzünden, jipsli zeminlerin yeraltısuyu genellikle doygunluk derecesinde CaSO_4 çözmüştür. Böyle sularda $\text{SO}_4^{=}$ artışına paralel olarak Ca artışı ile birlikte Mg artışı da görülür. Çünkü jipsli zeminlerde Mg fazlaca bulunur ve jipse doyan su bir miktar daha MgSO_4 çözebilir. Ayrıca suda çözünmüş olan NaCl jipsin çözünürlüğünü artırır. (Şekil:8) Bu şekilde hem jipsli hem tuzlu zeminlerden geçmiş bir yeraltısuyunda kuru kalıntı bazı hallerde 3000 mg/l.yi geçebilir. (Örnek analizler için bakınız, Tablo : 14)

Jipsli zemin sularında karbonat miktarı genellikle normalden daha azdır. Bunun sebebi, jips çözmek suretiyle Ca^{+2} bakımından zenginleşen suda bir miktar CaCO_3 in çökmesidir. Bu konu 1.6.16. Sülfat bölümünde anlatılmış ve örnekleri verilmiştir.

6.2.5. Marn ve Kil Suları

Birçok yeraltısuyu, hareketi sırasında marn, kil ve şeyller ile temas edebilir. Bu tür zeminler çok ince gözoneklidir. Pratikte geçirimsiz olarak kabul edilen böyle zeminlerde suyun hareketi son derece yavaştır. Bu yüzden tuzlu ve jipsli zemin suları dışında, diğer zeminlerin suyuna göre daha fazla Cl^- ve $\text{SO}_4^{=}$ taşırlar. Buna bağlı olarak da Na ve Ca miktarı artar.

Marnlı ve killi zeminlerde baz değişimine çok rastlanır. Baz'değişimi, kısaca sudaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının, zemin tarafından adsorplanarak suya Na^+ iyonu vermesidir. Bu konu 6.3.1. Baz Değişimi bölümünde daha ayrıntılı anlatılmıştır. Şekil : 18 de 5 numaralı su böyle bir olay geçirmiştir.

Larn ve killerden gelen sularda Si O_2 miktarı, diğer zeminlerin sularına kıyasla daha fazladır.

6.2.6. Kum ve Kumtaşı Suları

Kum ve kumtaşları çok gözenekli, geçirgen zeminlerdir. Suyu temas ettiği akifer yüzeyi oldukça geniştir. Ayrıca suyun akış hızı da kireçtaşlarından yavaştır. Bunun sonucu böyle zeminlerin suları, normal kireçtaşı sularına göre daha tuzludur.

Kum ve Kumtaşı sularında karbonat miktarı, yaklaşık olarak kireçtaşlarındaki kadardır. Na^+ , Mg^{+2} , $\text{SO}_4^{=}$ ve Cl^- ise kalker sularına göre daha yüksektir.

Ancak saf silisli kum ve kumtaşlarında durum biraz değişiktir. Böyle zeminlerde, zemin atmosferindeki CO_2 i dengeleyecek kadar karbonat çözünmemiştir. Bu yüzden sudaki serbest CO_2 , denge için gereken CO_2 den fazladır. Dolayısı ile böyle bir suyun pH'ı 5-6 arasındadır ve karbonatı çok düşüktür. Cl^- ve $\text{SO}_4^{=}$ karbonata yakın veya daha fazladır. Ca ve Mg miktarı ise karbonatı dengeleyecek kadardır.

6.2.7. Alüvyon Suları

Alüvyonlar, kimyasal bileşim, tane büyüklüğü ve geçirimsizlik yönlerinden karmaşık bir yapıya sahiptirler. Bazı hallerde çok gözenekli ve geçirimli, bazen killi ve ince kumlu, bazen de gözenekli fakat daha az geçirimli millerden oluşan alüvyonun kimyasal bileşimi de son derece değişkendir.

Alüvyonun anlatılan özellikleri sonucu, alüvyondan alınan suların tuz miktarı da geniş sınırlar içinde değişir. Az yağışlı bölgelerdeki alüvyon sularında Ca^{+2} , Mg^{+2} katyonları ile Cl^- ve $\text{SO}_4^{=}$ anyonlarının kısmen yüksek olduğu gözlenmiştir.

Aşağıdaki analizler alüvyondan su alan kuyulara aittir. Görüldüğü gibi tuzluluk ve tuzluluğun kompozisyonu kuyudan kuyuya bir hayli değişmektedir.

EC	pH	Na^+	K^+	$\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$	$\text{CO}_3^{=}$	HCO_3^-	Cl^-	$\text{SO}_4^{=}$
610	7.8	5.29	0.25	1.10 0.70	0.0	6.36	1.23	0.50
530	8.0	2.50	0.09	2.50	0.24	3.24	1.16	0.45
1400	7.8	5.75	0.25	8.50	0.0	8.96	3.60	1.94

6.3. Suyun Kimyasal Bileşimini Değiştiren Olaylar

Yeraltısuyunun hareketi sırasında, ortamın değişmesi sonucu, suyun kimyasal bileşiminde az-çok değişmeler meydana gelir. Bu olaylar ve suyun bileşiminde yapacağı etkiler özet olarak aşağıda verilmiştir.

6.3.1. Karbondioksit Konsantrasyonuna Bağlı Değişmeler

Suyun basınç ve sıcaklığında meydana gelen değişmeler serbest CO₂ miktarını da değiştirir. Serbest karbondioksidin değişmesi ise suyun kireçtaşı ve dolomiti çözme gücünü belirler ve pH ını değiştirir.

Suda görülen sıcaklık ve basınç değişmesi ile CO₂ miktarı azalır, daha önce dengelenmiş bulunan çözünmüş CaCO₃ ın bir kısmı (yeni denge kuruluncaya kadar) çöker. Bunun tersine



suda CO₂ miktarı artarsa, su yeniden kireçtaşı çözer. 1.6.6. kalsiyum ve 1.6.22 Karbon dioksit bölümlerinde de değinildiği gibi, suda bulunan serbest CO₂ miktarı suyun kireçlendirici, nötr veya korozif olma özelliklerini büyük ölçüde belirler.

Sudaki karbonat dengesine bağlı olarak, suyun kireçlendirici veya korozif özelliğinin belirlenmesinde, W.F. Langelier tarafından geliştirilen doygunluk indeksi (I) kavramı pratik sonuçlar verir. Bu amaçla Şekil 12 de verilen diyagram kullanılır. Burada pH suyun 25°C deki gerçek pH değerini, pH_s ise karbonatla dengedeki suyun pH değerini göstermektedir. Yani su ne kireçlendirici, ne de CaCO₃ çözücü olsa idi, bu durumda pH, pH_s değerine eşit olmalıydı.

Langelier diyagramı şöyle kullanılır :

Suyun pH, Ca ve alkalinite değerleri kullanılarak diyagramdan pH_s değeri okunur ve (I) doygunluk indeksi hesaplanır.

$$I = \text{pH} - \text{pH}_s$$

(I) değeri + 0.1 ile - 0.1 arasında ise su nötr

I " + 0.1 den büyük ise su kireçlendirici

I " - 0.1 den küçük ise su koroziftir.

Ancak burada pH, 25°C deki pH değeridir. Sıcaklık farklı ise bir düzeltme yapılmalıdır. 25°C den düşük her sıcaklık derecesi için 0.015 kadar bir değer I dan çıkarılır, 25°C den büyük sıcaklık dereceleri için ise eklenir.

Aynı şekilde suyun CO₂ miktarındaki değişiklikler, suyun pH ını da değiştirir. Sondaj kuyularında pompalama öncesi ile sonrası farklı pH ölçülmesi bu yüzdendir. Pompalama ile basınç düşmesi sonucu CO₂ kaybı olur ve pH yükselir.

6.3.2. Baz Değişimi

Yeraltısuyu hareketi sırasında, kendi iyonlarını suyun iyonları ile değiştirebilen bazı zeminlerle temas edebilir. Özellikle sudaki sodyum miktarı çok fazla ise bazı zeminler suyun sodyumunu adsorplayarak suya kalsiyum ve magnezyum iyonları verirler. Böylece toprak, zamanla tarım için uygun olmayan bir yapıya sahibolur.

Baz değişimine uygun olan başlıca mineraller şunlardır ;

- 1- Killi mineraller
- 2- Zeolitik mineraller
- 3- Organik topraklar (Humus v.s.)

Ayrıca baz değişiminin hızı ve büyüklüğü, killi minerallerin özelliklerine, sudaki değişebilir iyonların miktar ve cinsine bağlıdır.

Fazla sodyumlu sular, bitki üzerindeki doğrudan zehirleyici etkisi yanında, iyon değişimi ile topraktaki sodyum oranını artırarak toprak kalitesini bozduğu için de sulamada sakıncalıdırlar. (Bölüm: 1.6.8)

6.3.3. Sülfat İndirgenmesi

Bazı hallerde yeraltısuları, geldikleri zemin sülfatlı olmalarını gerektirdiği halde, sülfat yönünden son derece fakir olabilirler. Sulardan sülfat azlığı yanında H₂S veya diğer sülfürler görülürse, bu iki olay arasında bir ilişki kurulması gerekir. Böyle bir suda sülfat indirgenmesi söz konusudur.

Sülfat indirgenmesi, sülfatın oksijensiz ortamda, çeşitli etkilor altında bozunarak sülfürlere dönüşmesidir.

Önceleri sülfat indirgenmesinin organik maddelerin etkisi ile meydana geldiği sanılmıştır. Ancak laboratuvar deneyleri, normal yeraltı-suyu şartlarında bunun mümkün olmadığını göstermiştir. Bugün sülfat indirgenmesinin bazı mikroorganizmaların etkisi ile meydana geldiği bilinmektedir. Bu şekilde meydana gelen sülfat indirgenmesinde optimum sıcaklık 30-45°C dir.

Sülfat indirgenmesi meydana gelirken, organik bileşikler oksitlenerek CO₂ açığa çıkar. Böylece sudaki CO₂ miktarı artar. Artan CO₂ ise suyun karbonat dengesini değiştirir.

Sülfat indirgemesine uğramış sular, sonradan oksijenli bir ortama gelirse, tekrar değişikliğe uğrayarak kükürt bileşikleri sülfata dönüşür. Bu yükseltgenme olayı da oksitleştirici bakterilerin etkisi ile meydana gelir. Bu tür bakteriler, öncekilerin aksine sudaki CO₂ ve karbonatı tüketerek hayatlarını sürdürürler.

6.3.4. Yükseltgenme Reaksiyonları

Yeraltısuyunun oksijensiz bir ortamdan, oksijenli bir ortama geçmesi sonucunda bazı iyonlar yükseltgenerek çözünmeyen bileşikleri halinde çökelirler.

Demir ve mangan ihtiva eden su oksijenle temas edince bu iyonlar oksit ve hidroksitli bileşikleri haline geçerek çökelir, başka bir deyişle sudan ayrılırlar. Demir ve mangan'ın tasfiyesi de bir ölçüye kadar suyun püskürtülmesi (oksijene doyurulması) ile yapılır.

Akarsularda görülen organik artıklar da aynı şekilde, akarsuyun hareketli akışı sırasında oksijen ve güneş ışınlarının etkisiyle parçalanarak kimyasal yanmaya uğrarlar. Böylece organik maddeler parçalanarak kokusuz ve zararsız ürünlere dönüşürler. Bu olaya doğal temizlenme (self purification) adı verilir. (Bakınız ; 1.6.21 Organik kirlilik)

6.3.5. Tuz Yoğunluğunun Değişmesi

Bir suyun tuz yoğunluğu zaman içinde başlıca iki sebepten değişir.

1- Su, hareketi sırasında değişik zeminlerle temas ederek yeni tuz çözer. Bu olayda çözünen iyonların çeşidi ve bir noktaya kadar miktarı litoloji ile ilgilidir.

2- Buharlaşma sonucunda suyun birim hacmindeki tuz miktarı artar. Bu olay daha çok yüzeye yakın kesimlerde meydana gelir.

Suyun yeniden tuz çözmesini, yani suyun tuz yoğunluğunun artışıını etkileyen başlıca faktörler, suyun mevcut tuz konsantrasyonu, sıcaklık, basınç, temas yüzeyinin büyüklüğü ve temas süresidir.

Suyun mevcut tuz konsantrasyonu ne kadar düşükse, başka bir deyişle su ne kadar doymamış ise yeniden çözebileceğı iyon miktarı o kadar fazladır. Çünkü Mernst kanununa göre, katı bir cismin çözünürlüğü, çözünün doymunluk açığı ile doğru orantılıdır.

Sıcaklık, basınç temas yüzeyi ve süresi ile suyun çözebileceğı tuz miktarı doğru orantılıdır. Ancak gazların çözünmesi sıcaklıkla ters orantılıdır.

Daha önce anlatıldığı gibi, sularda görülen başlıca iyonlar Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , Cl^{-} , $SO_4^{=}$ ve HCO_3^{-} dir. Suya bu iyonları veren başlıca bileşikler ve bunların suda çözünürlüğü ise bellidir. (Böyle bir tablo Ek : 2 de verilmiştir.) Bu bileşikler çok sayıda olmakla beraber, kayalarda rastlanan en önemli ve en bol olanları $CaCO_3$, $MgCO_3$, $NaCl$ ve $CaSO_4$ dir.

Yeraltısuları genellikle kısa sürede $CaCO_3$ a doymun duruma geçecek kadar kireçtağı çözerler. Suyun CO_2 miktarı ile basınç ve sıcaklığı sabit kaldıkça karbonat miktarında bir artış olmaz. Buna göre sudaki karbonat miktarının üst sınırını CO_2 , alt sınırını, suyun Ca^{+2} konsantrasyonu belirler. Bunun pratik sonucu şudur : Normal bir yeraltısuyunun tuz yoğunluğu, $CaCO_3$ in sözkonusu sudaki doymunluk sınırında veya daha az ise, (Yaklaşık olarak $EC < 500$ micromho/cm) bu su kalsiyum karbonatlı bir su olacaktır.

Sular $CaCO_3$ ile çabucak dengeye geldiğı ve belli bir miktardan fazla çözemediğı halde, $CaSO_4$ ile aynı şekilde dengeye ulaşamaz. Su $CaCO_3$ a göre çok daha fazla $CaSO_4$ çözebilir.

Jips çözererek $CaSO_4$ a doymuş bir su sonradan $NaCl$ çözererek Na^{+} ve Cl^{-} iyonları yönünden zenginleşirse, yeniden jips çözebilir. (Şekil : 8) Bazı sulardaki yüksek sülfat konsantrasyonu bu şekilde ortaya çıkar.

Bu şekilde fazlaca CaSO_4 çözen sularda karbonat dengesi bozulur. Ca^{+2} konsantrasyonu arttığı için bir miktar CaCO_3 çöker. Bu yüzden fazla sülfatlı sularda, normalden daha az karbonat bulunur. (Tablo:14)

Yeraltısularında en çok rastlanan bir tuz da NaCl dir. NaCl , kayalarda CaCO_3 ve CaSO_4 kadar çok bulunmasa bile, sudaki çözünürlüğü çok caha fazladır. NaCl 'ün yer kabuğunda hem az bulunması hem de çözünürlüğünün çok fazla olması sonucu, normal şartlarda yeraltısuyunun NaCl ile doymuş hale gelmesi mümkün değildir.

NaCl , suya Na^+ ve Cl^- iyonlarını verir. Bunlardan Na^+ ve Cl^- iyonlarını verir. Bunlardan Na^+ konsantrasyonu katyon değişimi sonucu zamanla azalabilir. (Baz Değişimi) yukarıda anlatıldığı gibi Ca^{+2} , Mg^{+2} , HCO_3^- ve $\text{SO}_4^{=}$ iyonları da zamanla azalıp çoğalabilirler. Ancak Cl^- , suyun hareketi sırasında hiçbir surette azalmayan bir iyondur. (Doğal sularda az rastlanan birkaç iyon daha aynı özelliktedir.) Bu gerçeğin pratik sonuçları vardır : Bir akiferde belirli yönde ilerleyen suda klorür azalması, ancak daha taze (az klorürlü) bir suyun karışması ile mümkündür. Bu özelliğinden dolayı yeraltısuyu izlemelerinde klorürden doğal izleyici olarak faydalanılır. Aynı şekilde, klorür konsantrasyonundaki değişimlerden hareketle belirli bir havzada yeraltısuyunun beslenme alanından uzaklığı ve rezervi hakkında fikir edinmek mümkündür.

Yukarıdaki açıklamalardan şu sonuçları çıkarabiliriz :

a. Yağış halinde yeryüzüne düşen su, yatay ve dikey hareketi sırasında sürekli olarak tuzlanır.

b. Orta derecede tuzluluk aralığında, normal yeraltısuyu genellikle kalsiyum bikarbonatlı olup $\text{SO}_4^{=}$ ve Cl^- yönünden zayıftır.

c. Karbonata doymuşluk sınırından sonra sularda $\text{SO}_4^{=}$ miktarı giderek artar ve karbonatlı-sülfatlı sular oluşur. Sülfat artışına paralel olarak karbonat çökmesi görülebilir. Fazla Ca^{+2} çöktüğü için, Mg^{+2} oranı yükselir. Bu yüzden fazla sülfatlı sularda Mg^{+2} da fazladır.

d. Yüksek tuzluluk sınırına ulaştıkça su klorürce zenginleşir. Bu durumda fazlalık sırasına göre iyonlar $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ şeklindedir. Böyle bir suda katyon sırası ise genellikle $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2}$ şeklindedir.

e. Suyun ihtiva ettiği Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , HCO_3^- ve SO_4^{2-} miktarı çeşitli olaylar ile azalıp çoğalabildiği halde Cl^- miktarı suyun hareketi doğrultusunda sürekli artar.

Bu sonuçlar yeraltısuyu akım yönünü, beslenme alanı ve tazeliğinin tahmin ve tesbitinde önem taşırlar.

7. KAPLICA VE MADEN SULARI

Kaplıca ve maden sularının yeraltısuları içinde özel bir yeri vardır. Yurdumuz kaplıca ve maden suları yönünden oldukça zengindir. Toplam olarak beşyüzden fazla kaplıca ve maden suyu içinde dünyaca ünlü olanları da vardır.

Kaplıca suyu ile maden suyu farklı kavramları ifade etmekle birlikte çoğu defa aynı anlamda kullanılmaktadır. Ancak, kaplıca sularının en önemli karakteristiği sıcaklık dereceleri, maden sularının başlıca karakteristiği ise kimyasal bileşimleridir. Kaplıca suları kimyasal bileşimlerine göre karakterize edilemezler. Herhangi bir doğal su ile kaplıca suyunun kimyasal bileşimi bazı hallerde aynı olabilir. Normal sularda olduğu gibi, kaplıca sularında da erimiş tuz miktarı, birkaç yüz mg/l. ile 15000 mg/l. arasında değişir. Ancak bu sular normal sulardan daha sıcaktır. Maden suları ise normal sulara göre daha fazla miktarda ve genellikle de çok çeşitli mineral taşırlar.

Buna göre kaplıca ve maden sularını fizikokimyasal ve hidrojeolojik özellikleri yerine, tıbbî açıdan tariflemek daha uygun olmaktadır. "Kaplıca ve maden suyu, tedavi özellikleri bulunan tabii bir sudur". Bu suların tedavi edici özellikleri, taşıdıkları minerallerin cins ve kompozisyonları ile radyoaktivitelerinden gelmektedir. Ancak bazı maden suları şifelere konulunca bu özelliklerini kaybetmektedir.

7.1. Kaplıca ve Maden Sularının Kimyasal Bileşimi

Kaplıca ve maden suları, doğal sularda bulunan başlıca anyon ve katyonları bünyelerinde taşırlar. Ayrıca normal sularda bulunmayan bazı anyon ve katyonlar ile radyoaktif elemanlar da bulunur. Normal sulardan fazla olarak, bu sularda görülen başlıca anyonlar brom (Br^-), iyot (I^-) flor (F^-), arsenik (As^-) ; başlıca katyonlar ise lityum (Li^+), baryum (Ba^{++}), Stronsiyum (Sr^{++}) ve alüminyum (Al^{+3}) dur. Ayrıca bu iyonlardan başka, çözünmemiş olarak asit borik (H_3BO_3) ve silisik asit (H_2SiO_3) de sık görülen bileşiklerdir. (Bu bölümün sonunda örnek analizler verilmiştir)

Kaplıca sularında brom'a genellikle K^+ , Na^{+2} ve Mg^{+2} ile birlikte ve sık sık rastlanır. Aynı şekilde iyot da yaygındır. İyot, organik maddelerde yönünden zengin bitkisel fosil ihtiva eden formasyonlarda dolaşım sonucu suya geçer. Brom ve iyot, fosil sular ile petrol yataklarındaki sulara ve sahil depolarında bol miktarda bulunur. Bunların kökeni, yosunların etkisi altında meydana gelen biyokimyasal olaylardır.

Lityum tıbbi etkileri olan bir iyon olup düşük miktarlarda bulunur. Tuzlarının parçalanması sonucu ortaya çıkar. Ayrıca fosil sulara rastlanır. Deniz suyunda da bol miktarda lityum vardır. Doğal sulara düşük miktarlarda rastlanan lityum, bir suyu karakterize edebilen bir iyon olduğundan, yeraltısuyu izlemelerinde kullanılabilir.

Normal sulara olduğu gibi, kaplıca ve maden sularında bulunan mineraller de, yeraltısuyunun hareketi sırasında formasyonların yıkanması sonucunda suya geçerler. Mikroorganizmaların etkisi, bazı değişimleri ve redoks reaksiyonları gibi olaylarla iyonik bileşimleri zamanla değişebilir. Ayrıca bu sulara görülen bazı minerallerin, su buharı içinde arzun derinliklerinden gelebileceği sanılmaktadır. (Flor'da olduğu gibi)

Maden sularında görülen gazların en önemlileri, azot ve karbondioksittir. Daha seyrek olarak metan ve hidrojen sülfür gazları da görülür. Bazı hallerde az miktarlarda, helyum, neon, argon, kripton ve ksenon gibi nadir gazlara da rastlanır. Son yazılan bu gazlar içinde argon ve helyum diğerlerinden daha fazla bulunur. (Bursa-Çekirge'de 0,5 mg/l. metan, toplam 1,07 mg/l. argon, kripton ve ksenon ölçülmüştür.)

Tuzlarda olduğu gibi, gazlar da formasyondan ve daha çok arz kabuğunun derinliklerindeki volkanik olaylardan kaynaklanmaktadır.

Kaplıca ve maden sularında görülen yüksek sıcaklık, başlıca jeotermik gradiyan ve ikinci derecede volkanizma, tektonik yapı, fizikokimyasal reaksiyonlar ve radyoaktivite ile ilgilidir.

7.2. Kaplıca ve Maden Sularının Radyoaktivitesi

Kaplıca ve maden suları genellikle radyoaktiftir. Radyoaktivite sürekli olduğu gibi mevsimsel de olabilir. Sürekli radyoaktivite, daha çok erimiş radyum tuzları ile ilgilidir. Mevsimsel olanı ise, radyoaktif maddelerden gaz uçması sonucu görülmektedir.

Kaplıca ve maden sularındaki radyoaktivite, formasyonların doğal radyoaktivitesinden gelebileceği gibi, alfa partiküllerinin çözünmüş maddeler üzerine bombardımanı sonucu da meydana gelebilir. Radyum, Toryum ve Uranyum bakımından erüptif kayalar ve özellikle granit zengindir.

Ülkemizdeki kaplıca maden sularının pek çoğu radyoaktiftir. Bu durum, suların radyoaktif elementler yönünden zengin olduğunu göstermektedir. Bazı kaplıca sularımızda ise uranyum bulunmaktadır.

Aşağıdaki örneklerde, bazı kaplıca sularımızda ölçülen beta radyoaktiviteleri ile uranyum miktarları görülmektedir.

Kaplıca Adı	Toplam beta radyoaktivitesi P^{C1}/l	Uranyum mg/l.
Ankara-Kızılcahamam Büyük kaplıca	25.6	Yok
Ankara-Haymana Cincime Kap.	8.9	Yok
Ankara-Beyşehir Dutlu Kap.	57.6	$5.8 \cdot 10^{-3}$
Afyon-Lerkez Gazlıgöl Yeni Havuz	107.8	$3 \cdot 10^{-3}$
Aydın-Kuyucak Kızıldere Ilıcasi	90.4	$0.9 \cdot 10^{-3}$
Eursa-L. Kemalpaşa Akarca köyü	107.1	Yok
İzide-Çiftelhan	130.2	Yok
Adıyaman-Merkez Çelikhan Kaplıcası	100.9	$5.6 \cdot 10^{-3}$

Radyoaktivite birimleri 2.bölümde verilmiştir.

Bazı Ülkelerde, içme sularında müsaade edilen en yüksek beta radyoaktivitesi $100 P^{C1}/litre$, en yüksek uranyum miktarı da $6 \cdot 10^{-3}$ g/l. (6 mg/l.) olarak sınırlandırılmıştır. Bu bakımdan içmece olarak kullanılan kaplıca ve maden sularında bu hususa dikkat edilmelidir.

Türk Standartlarına (TS 266) göre içme sularında, alfa radyasyonu 10^{-9} mikroküri/ml, beta radyasyonu ise 10^{-8} mikroküri/ml.değerlerinden küçük olmalıdır.

7.3. Kaplıca ve Maden Sularının Orijini

Kaplıca ve maden suları meteorik ve jüvenil olmak üzere başlıca iki değişik orijinli olabilirler.

Yeraltısuyu dolaşımı sırasında mineralleri eriterek derinlere iner, jeotermik gradiyanın etkisi ile sıcaklığı yükselir, daha sonra çabuk yükselme ile hidrotermal oluklardan yüzeye çıkarsa, bu suya meteorik orijinli diyoruz.

Böyle sularda fizikokimyasal özellikler değişken olup, yeraltısuyunun dolaştığı formasyonların cinsine bağlıdır. Sıcaklıkları en fazla 35-40°C dir.

Bazı hallerde, kaplıca ve maden sularının fizikokimyasal özellikleri ile yüksek sıcaklıkları, meteorik orijinle izah edilememektedir. Bu tür suların, yeryüzünün derinliklerinde, magmaların kristalleşmesi sırasında serbest kalan buhardan ve lavların sertleşmesi sırasında kaya nemlerinin damıtılması veya kimyasal reaksiyonlar sonucu açığa çıkan sudan kaynaklandığı kabul edilmektedir. Böyle sulara jüvenil sular adı verilir.

Jüvenil orijinli suların kimyasal bileşimleri geldikleri formasyondan bağımsızdır. Genellikle özel minerallere sahip olan bu suların tuz konsantrasyonları sabittir. Aynı şekilde sıcaklıkları da hem yüksek hem kararlıdır.

7.4. Kaplıca ve Maden Sularına Ait Örnek Analizler

Aşağıdaki tablolarda, ülkemizin tanınmış kaplıca ve maden sularına ait kimyasal analiz sonuçları verilmiştir. Görüldüğü gibi iyon yönünden hayli zengin sulardır. Yukarıda bahsedilen iyon çeşitlerinin hemen hepsini taşıyan bu sular aynı zamanda radyoaktiftir.

1. Analiz, Bolu-Büyük Kaplıca, Doğu Kaynağına aittir. Bu su kalsiyum bikarbonatlı, florür ve karbondioksitli, hipertermal ve radyoaktif bir maden suyudur. Demir, alüminyum, mangan, çinko, krom ve bakır gibi elementler de bulunmaktadır.

2. Analiz, Yalova'nın esas kaynağına aittir. Bu kaynakta sodyum sülfat hakim tuz olup, kalsiyum da fazladır. Hipertermal ve radyoaktif bir maden suyu olan kaynakta florür ve bromür de bulunmaktadır.

3. Analiz, Bursa-Çekirge'de Vakıfbahçe kaynağına aittir. Kalsiyum bikarbonatlı olan suda, eskiden yapılmış analizlere göre helyum, neon, argon, kripton, ksenon gazları ile 0,5 mg/l. metan (CH_4) gazı bulunmaktadır. Hipertermal ve radyoaktif bir sudur.

4. Analiz, Denizli-Sarayköy-Tekkeköy Buharhamamı'na aittir. Sodyum sülfatlı olan bu suyun en önemli özellikleri yüksek sıcaklığı ($99^{\circ}C$) ve fazla florürlü (13,7 mg/l) oluşudur. Ayrıca H_2S ve metaborik asit bakımından da zengindir.

5. Analiz, İzmir-Urla Malgoça Heykeli kaynağına aittir. Kaynak suyu fazlaca sodyum klorürlüdür. Az miktarda florür ve bromür vardır. Radyoaktivitesi kısmen yüksektir.

6. Analiz, Ankara-Haymana kaplıca suyunundur. Kalsiyum bikarbonatlı bir su olan kaynakta 264 mg/l. CO_2 bulunmuştur.

7. Analiz, Ankara-Ayaş içmece suyunu temsil etmektedir. Sodyum klorür ve sülfatça zengin kaynak suyunda kısmen kalsiyum bikarbonat ve metasilisik asit değerleri de yüksektir.

8. Analiz, Afyonkarahisar'da Kızılay Maden Sodası suyuna aittir. Sodyum klorür ve sodyum bikarbonatlıdır. Karbondioksit ve bromür değeri oldukça yüksek, radyoaktif bir sudur.

9. Analiz, Konya-Seydişehir Ilıca kaynağıdır. Kalsiyum bikarbonatlı olan suda diğerlerinden fazla olarak bromür ve iyodür bulunmaktadır.

10. Analiz Balıkesir-Burhaniye, Dutluca ekşisuyuna aittir. Suyun en önemli özelliği son derece düşük pH değeridir. Adına bu yüzden ekşisu denilmiş olmalıdır. Görüldüğü gibi, doğal sularda pek rastlanmayan hidrojen iyonu bulunmakta doğal suların aksine bikarbonat bulunmamaktadır. Ayrıca bir hayli yüksek değerde (9,37 mg/l.) alüminyum ihtiva etmektedir.

Fiziko-Kimyasal Özellikler:		1	2	3	4	5
Öziletkenlik, EC		1600	2030	590	4700	15000
Sıcaklık °C		42	57	47	99	22
pH		6.28	7.66	6.98	7.36	6.92
Kation ve Anyonlar, mg/l						
Amonyum	NH ₄ ⁺	-	-	-	26.00	-
Lityum	Li ⁺	-	-	-	-	-
Sodyum	Na ⁺	46.00	236.95	25.30	912.70	2119.45
Potasyum	K ⁺	15.35	5.85	4.70	104.01	105.13
Kalsiyum	Ca ⁺⁺	354.48	194.70	79.20	9.36	286.12
Magnezyum	Mg ⁺⁺	56.29	2.62	13.90	3.71	200.15
Stronsiyum	Sr ⁺⁺	-	-	-	-	-
Baryum	Ba ⁺⁺	-	-	-	-	-
Demir	Fe ⁺⁺	0.40	0.20	0.72	0.05	0.44
Aluminyum	Al ⁺⁺	0.13	0.08	0.05	0.05	0.10
Mangan	Mn ⁺⁺	0.30	-	-	-	0.38
Çinko	Zn ⁺⁺	0.01	0.02	-	-	0.10
Krom	Cr ⁺⁺	0.03	0.001	-	-	-
Bakır	Cu ⁺⁺	0.06	-	-	0.06	-
Titan	Ti ⁺⁺	-	-	-	-	-
Kurşun	Pb ⁺⁺	-	-	-	-	-
Florür	F ⁻	2.10	3.44	0.40	13.70	0.90
Klorür	Cl ⁻	11.00	104.00	5.10	95.50	3725.7
Bromür	Br ⁻	-	0.02	-	-	0.13
İyodür	I ⁻	-	-	-	-	-
Sülfat	SO ₄ ⁼	480.00	815.00	60.00	1010.00	635.00
Nitrit	NO ₂ ⁻	-	-	-	-	-
Nitrat	NO ₃ ⁻	-	-	1.33	-	2.43
Hidrofosfat	HPO ₄ ⁼	1.91	1.76	0.19	3.10	0.75
Karbonat	CO ₃ ⁼	-	-	-	-	-
Bikarbonat	HCO ₃ ⁻	875.96	21.47	300.89	1220.00	451.40
Hidroarsenat	HAO ₄ ⁼	0.03	-	-	-	-
Gaslar ve Çözünmemiş maddeler mg/l.						
Karbondiyoksit	CO ₂	313.20	4.40	29.21	112.64	39.96
Sülfürler	H ₂ S	0.02	0.62	0.01	4.41	-
Metaborik asit	HBO ₂	0.83	0.48	2.03	62.37	4.70
Metasilisik asit	H ₂ SiO ₃	28.27	48.10	33.80	110.50	9.10
Radyoaktivite,	PCi/l.					
Toplam alfa aktivitesi		12.10	1.63	9.76	20.72	10.34
Toplam beta	"	7.96	3.56	8.92	89.59	41.45
Radon	Rn ²²²		289			754

Fiziko-kimyasal Özellikler		6	7	8	9	10
Öziletkenlik, EC		1100	12500	4800	900	650
Sıcaklık, °C		44.6	50	18	32.5	15.5
pH		7.6	6.9	6.6	7.0	5.0
Katyon ve Anyonlar, mg/l.						
Hidrojen	H ⁺	-	-	-	-	2.35
Amonyum	NH ₄ ⁺	-	1.0	-	0.2	1.3
Lityum	Li ⁺	-	-	Eser	-	-
Sodyum	Na ⁺	81.40	2282.50	956.0	4.5	39.3
Potasyum	K ⁺	6.05	39.10	13.9	Eser	10.1
Kalsiyum	Ca ⁺⁺	114.0	454.20	119.8	124.6	21.7
Magnezyum	Mg ⁺⁺	24.0	97.60	13.9	35.4	22.3
Demir	Fe ⁺⁺	0.31	0.23	-	0.05	0.48
Aluminyum	Al ⁺⁺	0.34	Eser	0.15	0.94	9.37
Mangan	Mn ⁺⁺	Eser	-	-	-	-
Klorür	Cl ⁻	24.0	2508.0	126.0	14.1	23.4
Bromür	Br ⁻	-	-	47.9	31.3	-
İyodür	I ⁻	-	-	0.20	0.16	-
Sülfat	SO ₄ ⁼	9.4	2083.0	6.50	16.7	369.9
Nitrit	NO ₂ ⁻	-	-	-	-	-
Nitrat	NO ₃ ⁻	-	0.8	10.0	0.54	-
Hidrofosfat	HP ₄ ⁼	-	3.06	Eser	Eser	Eser
Karbonat	CO ₃ ⁼	-	-	564.0	-	-
Bikarbonat	HCO ₃ ⁻	618.2	1033.95	1476.2	509.5	-
Hidroarsenat	HA ₄ SO ₄ ⁼	-	-	-	-	-

Gazlar ve çözünmemiş maddeler, mg/l.

Karbondiyoksit CO ₂	264.0	248.7	2150.0	88.0	204.0
Sülfürler. H ₂ S	0.5	0.5	-	-	-
Metasilisik asit H ₂ SiO ₃	69.6	110.5	12.5	19.5	78.0
Metatitanik asit H ₂ TiO ₃	-	-	-	Eser	-
Radyoaktivite, Eman	1.5	40.5	10.0	8.0	-

B. YERALTISUYUNUN KİRLENMESİ

Daha önce su kirliliğini, "suyun belirli bir amaç için kullanılabilirliğinin azalması veya yok olması" şeklinde tanımlamıştık. Yeraltısuyunun kirlenmesi de genel olarak aynı anlamdadır.

Yeraltısuları için başlıca kirlenme şekilleri, kimyasal ve bakteriyolojik kirlenmelerdir.

Yeraltısuları kirlenmeye karşı son derece hassastır. Öte yandan bu kirliliğin teşhisi oldukça zor ve zaman alıcıdır. Genellikle kirlenme teşhisten çok önce başlamıştır. Bu yüzden, orijinal kirlilik kaynağı belirlendikten ve ortadan kaldırıldıktan yıllar sonra ancak su eski temizliğine kavuşabilir.

Ülkemizde yeraltısuyunun yüzeyden kirlenmesi henüz yaygın bir problem değildir. Ancak nüfus artışı, sanayinin gelişmesi, yanlış su kullanımları, tarımda gübreleme ve ilaçlama gibi faktörlere bağlı olarak bazı şikayetler gelmektedir.

Aslında problemin yaygınlaşmadan önce bilinmesi bir avantaj kabul edilerek kirlenmeyi önleyecek tedbirler şimdiden alınmalıdır. Sanayileşmiş birçok ülkede, yeraltısuyunu kirlenmeden korumak amacı ile kanun ve yönetmelikler hazırlanmıştır. Ancak kirlenme başladıktan sonra uygulanan metotlar hem zaman alıcı hemde çok pahalıdır.

Yeraltısuyuna yüzeyden karışarak kalitesini bozan başlıca kirlilik şekilleri ve bunların kaynakları aşağıda özetlenmiştir.

8.1. Azot Kirlenmesi

Halk sağlığı yönünden yeraltısularında en önemli kirlenme azot kirlenmesidir. (Sulama sularında azot kirlilik değil, bilakis gübre olduğundan varlığı istenir.)

Yeraltısuyundaki azot genellikle nitrat halinde bulunur. Nitrat, azotun en son oksidasyon ürünüdür. Sonradan parçalanmayan ve adsorbe edilmeyen nitrat, özellikle süt çocuklarında hastalık yapmaktadır. Bu yüzden içme ve kullanma sularında 10 mg/l.den fazla azot (=45 µg/l. nitrat) istenmez.

Yeraltısuyundaki nitrat şu kaynaklardan gelebilir :

- a) Azotlu ve organik bileşiklerin oksitlenmesi
- b) Azotlu gübreler
- c) Atmosferik azot (yağışla atmosferden çözülen ve bakterilerce bitki köklerinde oluşturulan azot)
- d) Kanalizasyon ve sanayi atıkları
- e) Jeolojik birikimler

Bunlardan ilk dördü, özellikle yüzeye yakın yeraltısularındaki azotlu bileşiklerin kaynağıdır.

Atmosferden yağışla çözülen azot miktarı, yağışa ve yağış sırasında rüzgar, sıcaklık gibi faktörlere bağlı olarak, yılda 0,08 ile 1,57 g/m² arasında değişir. (Havada % 79 oranında azot vardır ve azotun sudaki çözünürlüğü 10°C de 16 ml. azot/lt dir.) Ortalama yıllık yağış 500-600 mm. olan bir bölgede, yağışla toprağa taşınan azot miktarı 0.5-10 g/m² dolayındadır.

Bitki köklerinde bakteriler yardımı ile çözülen azot miktarı çok daha fazladır. Ortalama yılda hektar başına 100 kg olan bu değer, baklagillerde 470 kg'a kadar yükselir.

Yüzeye yakın bölgelerdeki azotun çoğu bitkiler tarafından kullanılır. Bir kısmı denitrifikasyonla atmosfere geri döner; bir kısmı da yeraltısuyuna karışır. Ancak azot miktarı gereğinden fazla ise (azot devri dengesi tek taraflı bozulmuş ise) yeraltısuyundaki azot miktarı artabilir. Özellikle sığ kuyularda çok yüksek nitrat konsantrasyonları bu şekilde meydana gelir.

Akarsulara, çukurlara veya enjeksiyon kuyularına verilen asoili kanalizasyon veya sanayi atıkları, akifer ile ilişki kurabilirne yeraltısuyunda azot kirlenmesine yol açar. Bu yoldan nitrat kirlenmesini önlemek için atıkların denitrifikasyonla tasfiyesi gerekir.

Sayılan kaynaklar dışında, hayvan beslenme sahalarından süzölmeler, kanalizasyon sistemlerindeki sızıntılar gibi faktörler de nitrat kirliliği yaparlar.

8.2. Ağır Metal Kirliliği

Ağır metallerin kimyası oldukça karmaşıktır. Yeraltısuyuna geçmelerini ve bu geçiş sırasında uğrayacakları değişiklikleri önceden tahmin etmek güçtür. Çünkü adsorpsiyon ve çökeltme reaksiyonları, basik sulara çok az çözünmeleri, bu metallerin yeraltısuyuna karışmalarını yavaşlatır. Ancak gene de zehirli metal ihtiva eden atıklara dikkat edilmelidir.

Yeraltısuyundaki ağır metallerin başlıca kaynağı endüstriyel atıklardır. Özellikle metal ve kaplama atıklarından krom, kadmiyum, bakır ve kurşun gibi ağır metaller yeraltısuyuna karışabilir. Bunlar içinde krom ve kadmiyum kirlenmesine sık rastlanmaktadır.

Ağır metaller içme ve kullanma sularında olduğu gibi sulama sularında da istenmez. (Ekiniz bölüm: 4.3.10 Eser Element kriterleri)

8.3. Deterjan Kirliliği

Yeraltısularında deterjan kirliliğinin başlıca kaynağı kanalizasyon ve benzeri atıklardır.

1960 lı yıllara kadar deterjan yapımında biyolojik olarak parçalanmayan benzen sülfonat (AES) lar kullanılmıştır. Bu tarihten sonra ise, biyolojik olarak parçalanabilen lineer alkil sülfonat (LAS) kullanılmış ve böylece deterjan kirliliği büyük ölçüde azalmıştır. (Ülkemizde ise parçalanmayan benzen sülfonatların kullanılmasına devam edilmektedir.) Sulardaki LAS'ın % 90 ı biyolojik olarak parçalanabilmektedir. Ancak deterjanlardaki fosfat sulara yosunlaşmaya sebep olmaktadır.

8.4. Pestisidlerle Kirlenme

Çok ender de olsa, yeraltısuyunun pestisidlerle kirlenmesine rastlanmaktadır. Yeraltısuyunun bu şekilde kirlenmesi, ancak pestisidli endüstriyel atıklar ve kanalizasyon sularından sızmalar ile olmaktadır.

Pestisidler genellikle parçalanmayan ve suda çok az çözünen maddelerdir. Toprakta tutulan bu maddeler suya ancak ppb mertebesinde geçmektedir. En çok rastlananlar, DDT sularda 0,05-0,22 ppb, DDE 0,01-0,8 ve toxafen 1,0-10 ppb dolayında bulunmaktadır.

Pestisidlerin son durağı denizler olduğundan, yeraltısuyundan çok deniz ürünleri aracılığı ile insanlara gelmektedir. Ülkemiz yeraltısularında henüz böyle bir kirlenme tesbit edilmemiştir.

8.5 . Petrol ve Doğal Gaz Kirlenmesi

Petrol ve doğal gaz boru hatları ile bunların ikmal depolarından zararlı hidrokarbonları yeraltısuyuna karışabilir. Aynı şekilde yüksek oktanlı benzinden gelen kurşun kirlenmesi de görülmektedir.

En önemlilerini saydığımız bu kirlenme kaynakları dışında yeraltısuları, terk edilmiş kömür ocağı veya kömür depoları, karayollarında buz eritmekte kullanılan tuzlar, kirlenmiş yeraltısuları ve çöp depolarından sızıntılar gibi değişik faktörlerin etkisi ile kirlenebilir.

9. SU ANALİZ SONUÇLARININ YORUMU

Su analiz sonuçlarına yorumlamanın amacı, kullanma yerine göre suyun ne ölçüde uygun olduğunu belirlemek, suda kalite bozukluğu varsa bunun sebebini ortaya koymak, kötü kaliteli su sınırları çizmek, suyun alındığı formasyon ile kalite arasında ilişki kurmak, yeraltı suyun beslenme yönünü tesbit etmek, birbirleriyle ilişkili suları ortaya çıkarmak ve suyun karakteri ile geçirdiği kimyasal değişimleri tahmin etmek gibi hususlardır.

Bir suyun kimyasal analizinin yorumunda temel malzeme gene analizin kendisidir. Ancak bu analiz sonucunu topluca görebilmek, iyonlar arası karşılaştırmaları kolaylaştırmak, birkaç suyu birbiri ile kıyaslamak ve bu şekilde daha iyi yorum yapabilmek amacı ile grafik ve diyagramlar kullanılır.

Bu amaçla kullanılan grafik ve diyagramların en önemlileri ve bunlara göre yapabilecek yorumlar aşağıda özetlenmiştir.

9.1. Kolon Grafikler

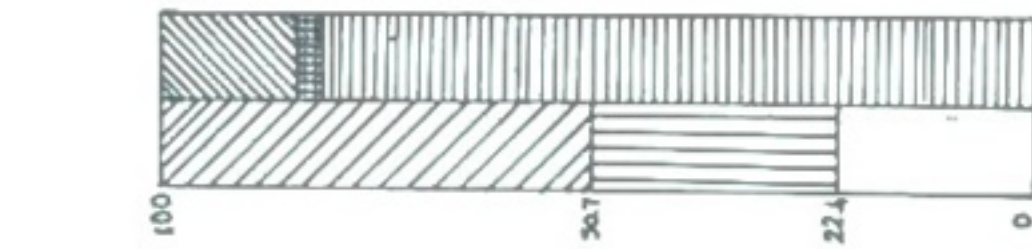
Yanyana çizilmiş iki kolondan oluşan bu grafik türünde, anyonlar kolonlardan birine, katyonlar diğerine mek/l. olarak üstüste yerleştirilir. Kolon uzunluğu toplam anyon (veya katyon) miktarını gösterir. Birim mek/l. ile verildiğinden anyon kolonu, katyon kolonuna eşit uzunluktadır. Şekil 15

Alışılmış şekli ile soldaki kolona katyonlar, aşağıdan yukarıya sıra ile Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+} , sağdaki kolona ise aynı şekilde, $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^{-} , $\text{SO}_4^{=}$ ve Cl^{-} yerleştirilir.

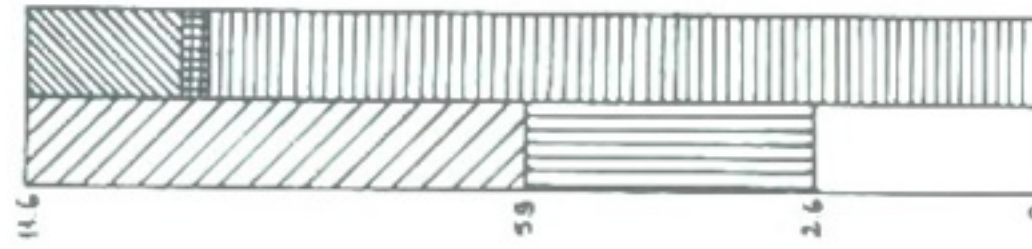
Bu grafiklerde belli kolon uzunluğu 1 mek/l.yi göstermek üzere iyonlar yerleştirilebileceği gibi, iyonlar % miktarlarına göre de yerleştirilebilir. Bu taktirde kolonun toplam uzunluğu % 100 olmak üzere her iyon % miktarına göre kolonda yer işgal eder. Şekil 15 (a) ve (b)

Birinci analiz

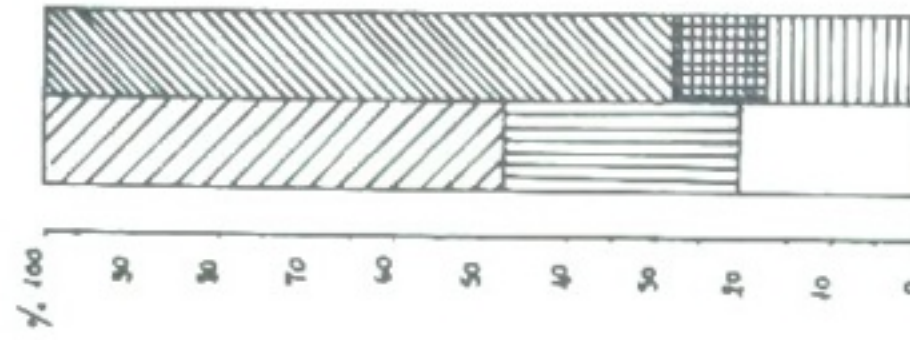
İkinci analiz



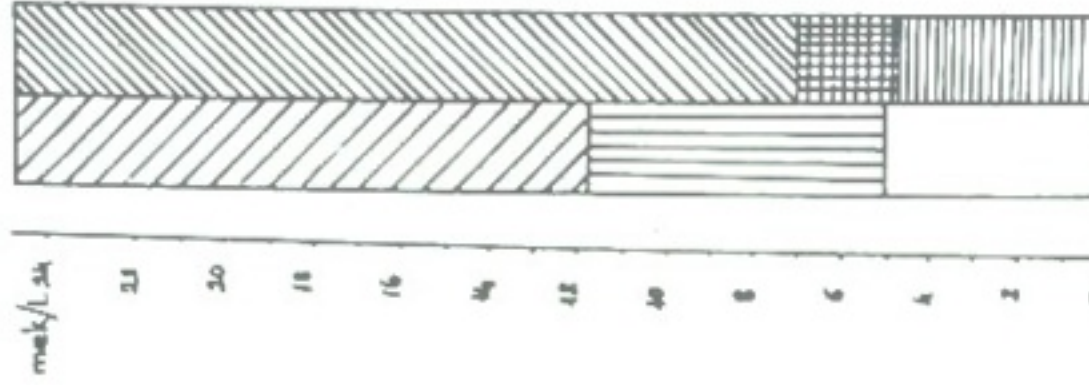
(a) iyon % sl. mek/l



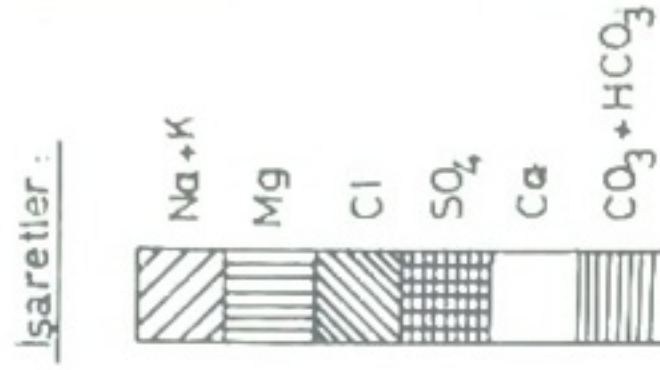
(b) 1 cm = 1 mek/l



(a) iyon % sl. mek/l



(b) 1 cm = 2 mek/l



Şekil:15- KOLON GRAFIKLER

Aşağıda analizleri verilen sular, iki ayrı şekilde kolon grafiklere yerleştirilmiştir.

	EC	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Toplam
(1)	1140	6.5	5.6	0.2	2.6	3.3	0.0	9.5	1.8	0.3	11.6
(2)	2500	7.1	12.7	0.2	5.1	6.7	0.0	4.7	17.7	2.3	24.7

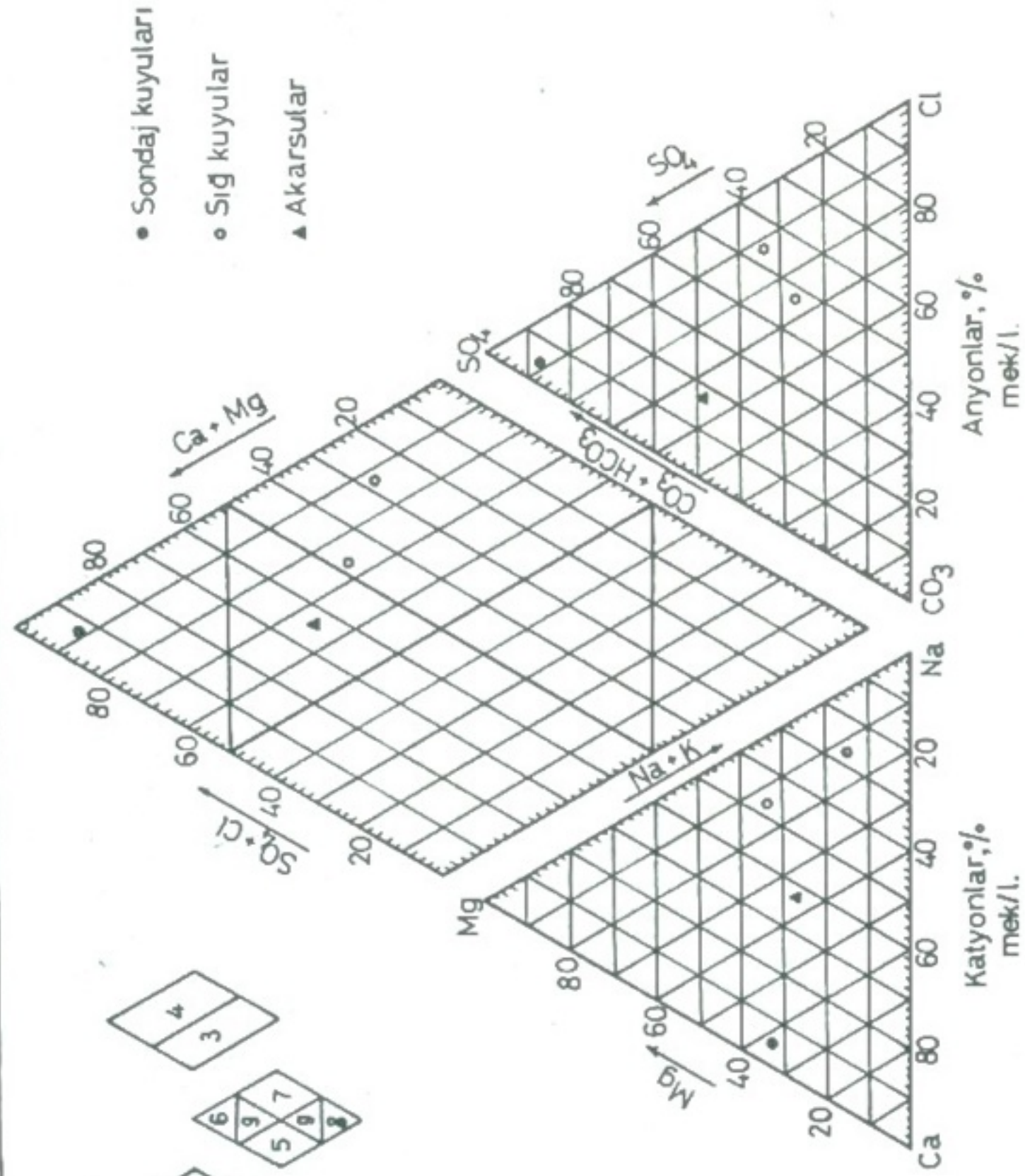
Grafiklerden görüldüğü gibi 1. analiz sodyum bikarbonatlı (sodali) bir suyu, 2. analiz sodyum klorlü (tuzlu) bir suyu göstermektedir. Her iyon için ayrılan kolon uzunluğu o iyonun miktarını veya % sini ifade etmektedir. Şekilde (b) ile ifade edilenler iyon miktarına (a) ile gösterilenler iyon % sine göre çizilmiştir.

(b) tipi grafikler sadece suyun tipini (sodyum klorürlü, kalsiyum sülfatlı vb.) belirlemekte kullanıldığı halde, (a) tipi grafikler aynı ölçekle çizilmek şartıyla, aynı zamanda iki suyu karşılaştırmak için de kullanılır. Ancak bu şekilde bir karşılaştırma yapabilmek için, her suyun ayrı ayrı kolon grafiği çizilmelidir. Aynı grafik üzerinde birkaç suyu göstermek mümkün değildir. Bu durum zaman alıcı olduğu gibi, fazla yer kaplaması yönünden de uygun değildir. Bu yüzden kolon grafikler uygulamada fazla kullanılmaz. Ancak su kalitesi haritalarında su analizini kısaca göstermek için bazen kullanılmaktadır.

9.2. Üçgen Diyagramlar

Suları gruplandırmak ve tiplerini belirlemekte kullanılan bu diyagramlar bir eşkenar üçgenden ibarettir. Bu metotta iyonlar % değerleri ile diyagrama geçirilir. Anyonlar ve katyonlar için ayrı ayrı birer üçgen kullanılabileceği gibi, tek bir üçgene hem anyonlar hem katyonlar da işaretlenebilir.

İyonların üçgenin köşelerine nasıl yerleştirileceği şekil 16 da gösterilmiştir. Diyagramda, her iyonun yerleştirildiği köşenin karşısındaki kenar, o iyonun % değerinin sıfır olduğu doğruyu, iyonun yazıldığı köşe ise iyonun % 100 olduğu noktayı gösterir. Buna göre iyonun hesaplanan % değeri üçgen üzerinde işaretlenir ve işaretlenen bu üç noktadan, her iyonun sıfır doğrusuna paraleller çizilir. (Çizilen üç paralel aynı noktada kesişmelidir. Başka bir deyişle üçüncü paralel, iki paralelin kesişme noktasından geçmelidir. Buna göre iki iyonun % sini hesaplamak yeterlidir.) Paralellerin kesiştiği nokta suyun % iyon bakımından kimyasal karakterini gösterir.



Şekil : 16 – ÜÇGEN DİYAGRAMI

Anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı üçgenlerde işaretlendikten sonra bu iki noktadan, bir paralel kenara çizilen paralellerin kesiştiği nokta bulunarak, bu tek bir nokta ile temsil edilmek üzere, bir eşkenar dörtgene taşınmış olur. Şekil 16

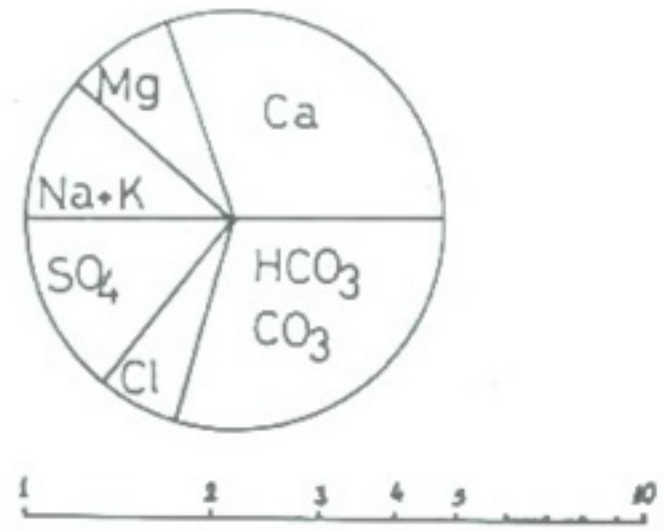
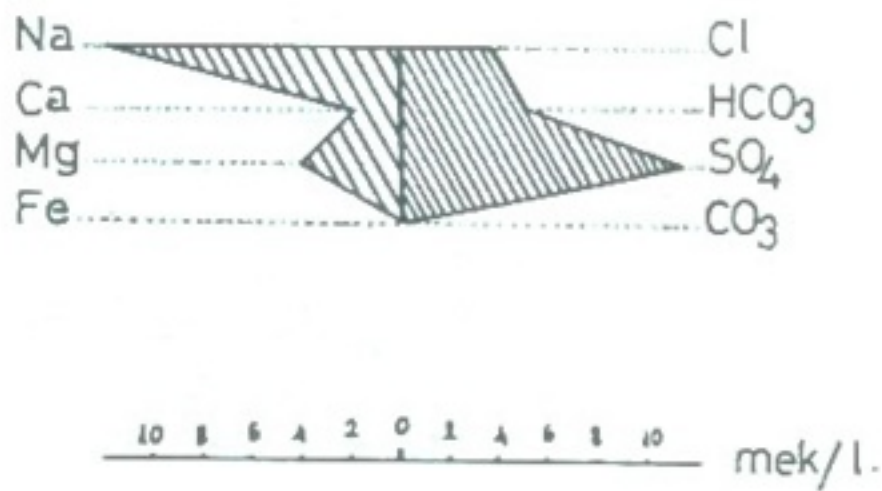
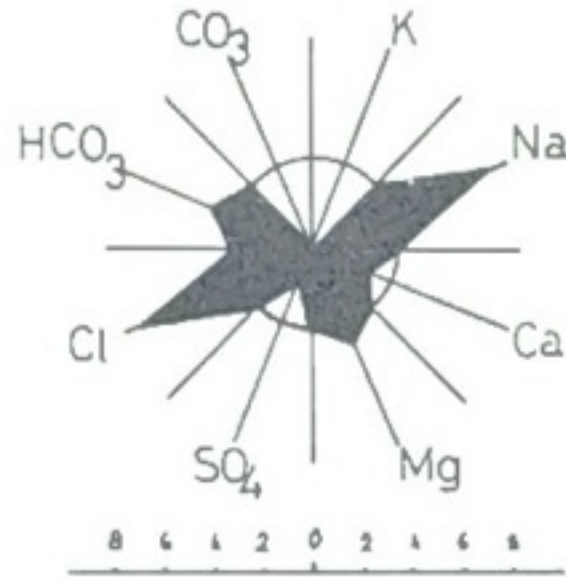
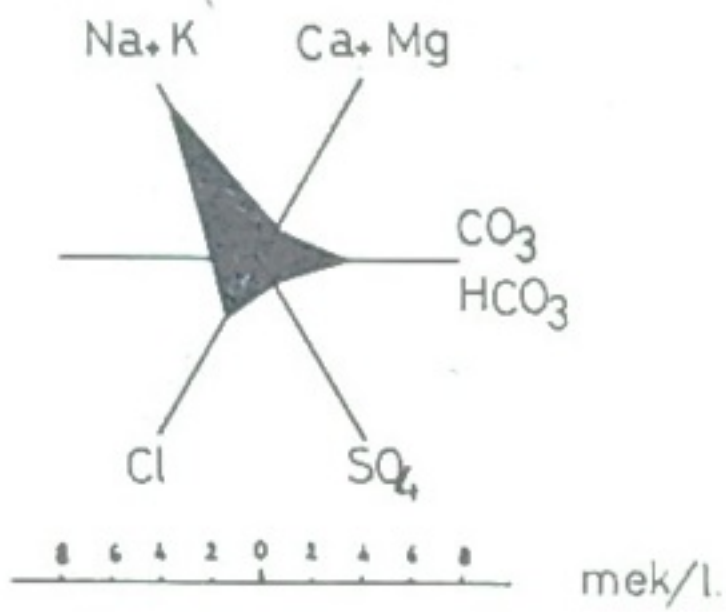
Eşkenar dörtgende suyu temsil eden noktanın bulunduğu bölge suyun ana karakterini gösterir. Bütün sular için noktalar işaretlendiğinde, aynı kökenli sular yaklaşık olarak aynı bölgede toplanır. Böylece üçgen diyagramlar suların tiplerini belirlemek ve suları gruplandırmakta faydalı olurlar.

Eşkenar dörtgendeki numaralanmış bölgelerin hangi anlama geldiği aşağıda açıklanmıştır.

1. Bölgeye düşen bir suda $Ca^{+2} + Mg^{+2} > Na^{+} + K^{+}$
Karbonatlı ve sülfatlı sulardır.
2. Bölgede, $Na^{+} + K^{+} > Ca^{+2} + Mg^{+2}$
Tuzlu ve sodalı sulardır.
3. Bölgede, $HCO_3^{-} + CO_3^{=} > Cl^{-} + SO_4^{=}$
4. Bölgede, $Cl^{-} + SO_4^{=} > HCO_3^{-} + CO_3^{=}$
5. Bölgede, karbonat sertliği $>$ karbonat olmayan sertlik. Böyle sular $CaCO_3$ ve $MgCO_3$ lı sulardır.
6. Bölgede karbonat olmayan sertlik $>$ karbonat sertliği
 $CaSO_4$ ve $MgSO_4$ lı sulardır.
7. Bölgede, karbonat olmayan alkalilik $>$ karbonat alkaliği
 $NaCl$, Na_2SO_4 ve KCl lı sular
8. Bölgede, karbonat alkaliliği $>$ karbonat olmayan alkalilik
9. Bölgede, hiçbir iyonu % 50 yi geçmeyen sular bulunur.

9.3. Işınsal Diyagramlar

Merkezi bir noktanın etrafına yerleştirilen eksenler üzerine her eksene bir iyon gelmek üzere, iyonların mek/l.veya % miktarı işlenir ve bu noktalar birbiri ile birleştirilirse ışınsal diyagram elde edilir.



Şekil : 17_ İŞİNSAL DİYAGRAMLAR

Böylece her su için bir diyagram hazırlanır. Benzer sular, benzer diyagramlar vereceğinden suların gruplandırılması ve birbirleriyle karşılaştırılması için bu diyagramlardan faydalanılır. Ancak her su için ayrı bir diyagram çizmek gerektiğinden kullanışlı değildir. Bununla birlikte, su analiz sonuçlarının harita üzerinde gösterilmesi gereken bazı durumlarda bu diyagramlardan faydalanılır. Şekil 20 de verilen su kimyası haritasında böyle bir uygulama görülmektedir. Aynı amaçla kolon grafikler de kullanılır.

İşinsal diyagramların değişik birkaç tipi vardır. Şekil 17 de yaygın olan dört ayrı tip örnek olarak verilmiştir. Örnek (a) da sodyum bikarbonatlı bir su, (b) de sodyum klorürlü bir su, (c) ve (d) de ise sırası ile sodyum sülfatlı ve kalsiyum karbonatlı sular gösterilmiştir.

İşinsal diyagramlar kullanıldığında zaman, ölçeği verilmelidir.

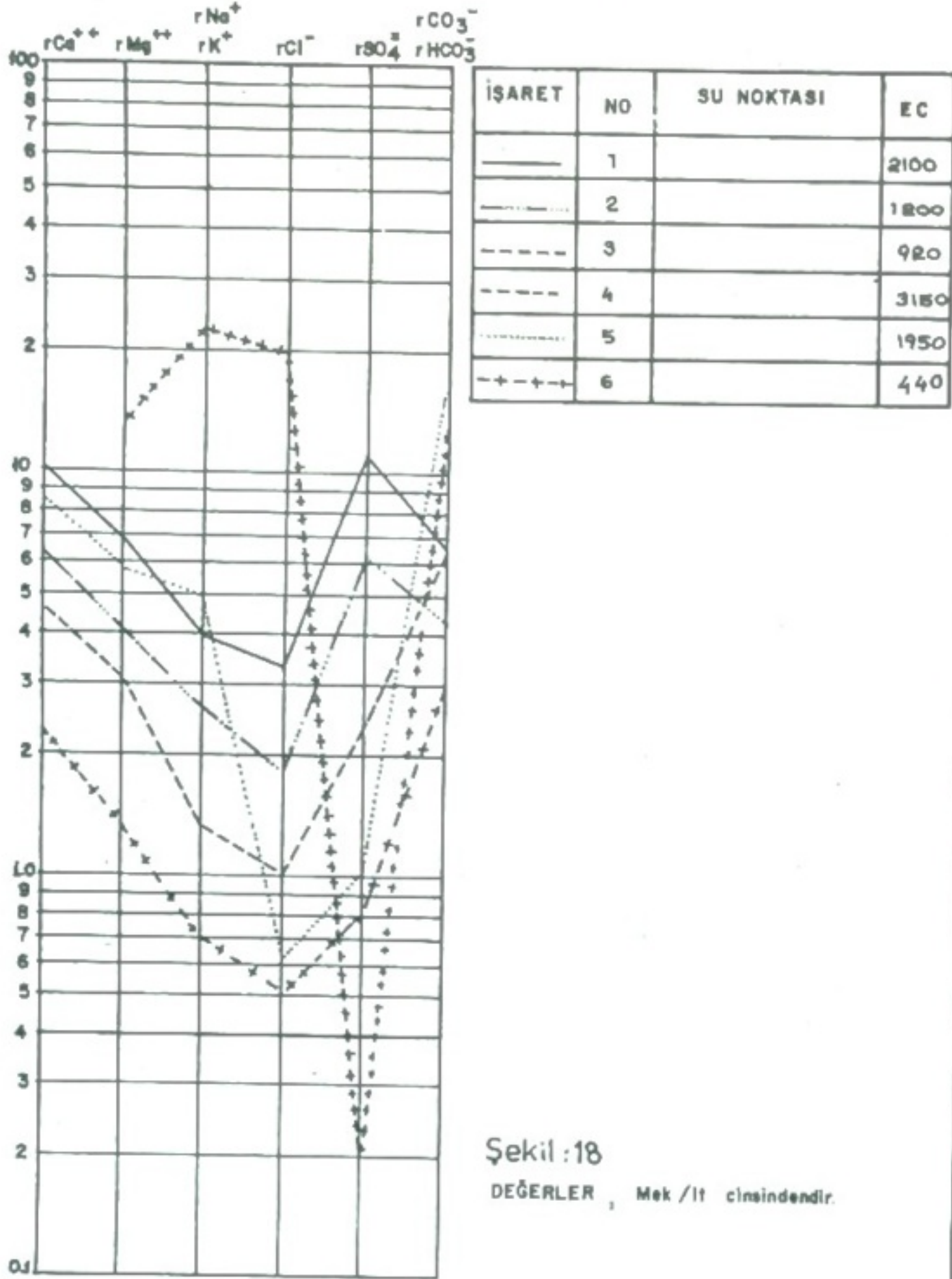
9.4. Yarı Logaritmik Diyagramlar

İşinsal diyagramların değişik bir şeklidir. Bu tür diyagramda yatay eksene belirli aralıklar ile iyonlar sıralanır. Düşey eksen logaritmik ölçeklidir. Bir su bu diyagramda gösterilirken her iyonun mg/l. değeri, kendine ait logaritmik eksenle işaretlenerek elde edilen noktalar birleştirilir. Böylece bir su, kırık çizgiler halinde temsil edilmiş olur. Bu grafikte sular, aritmetik eksenli grafiklerden daha sade bir şekilde görülür. Şekil 18

H.Schoeller tarafından geliştirildiği için Schoeller Diyagram da denilen bu diyagramın diğerlerine göre bazı üstünlükleri vardır.

Diğer diyagram tiplerinden faydalanarak, bir suyun tipi ve karakteri hakkında söylenilebilen hususlar bu diyagrama göre de söylenebilir. Ayrıca bu diyagramda birden fazla su birarada gösterilebilir. Görünüşü daha sade ve anlaşılması kolaydır. Her iyonun değeri tek başına görülebildiği gibi, iyonların birbirine oranları da bir bakışta görülebilir. Gerekirse Mg^{+2}/Ca^{+2} , SO_4^{2-}/Cl gibi anlamlı bazı oranlar grafikten hesaplanabilir.

YARI LOGARİTMİK DİYAGRAM



Şekil :18

DEĞERLER , Mek /lt cinsindendir.

Bu diyagramın bir başka üstünlüğü de sonuçları mg/l. olarak verilen analizlerin, bir hesaplama gerektirmeden mek/l. olarak diyagrama geçirilebilmesidir. Bunun için yarı logaritmik diyagramla aynı açıklıkta bir logaritmik şerit, hesap cetveli şeklinde kullanılarak mg/l. olarak verilen iyon değerleri, mek/l. olarak diyagrama işlenir. Bu iş şöyle yapılır.

Kesilen logaritmik şerit üzerine, diyagrama işlenecek iyonların ekivalent ağırlıkları işaretlenir ve her işaretin yanına hangi iyonla ait olduğu yazılır. Mesela logaritmik skalada, Ca un ekivalent ağırlığı olan 20 işaretlenerek yanına Ca, 12 işaretlenerek Mg, 23 işaretlenerek Na... yazılır. Hazırlanan bu cetvel kullanılarak (hesap cetveli prensibine göre) mg/l sonuçları mek/l. ye çevrilerek grafiğe geçirilir. Bunun için mesela 280 mg/l, Ca değeri grafiğe geçirilirken hazırlanan cetvelin Ca=20 değeri diyagramın 1 değeri ile karşılaştırılır ve cetvelin 280 değerinin grafikteki (Ca sütununda) karşılaştığı nokta Ca un mek/l değeri olarak işaretlenir. Burada yapılan iş, hesap cetveli ile 280 in 20 ye bölünmesidir.

Aynı şekilde 125 mg/l Cl diyagrama işlenirken cetvelin Cl=35,5 noktası diyagramın Cl sistemindeki 1 değeri ile karşılaştırılır ve cetvelin 125 değeri ile karşılaşan nokta diyagramdan mek/l. klorür değeri olarak işaretlenir.

Yarı logaritmik diyagrama işlenmiş bir suyun analizine bakarak, aynı kökenli suları ayırmak ve suları gruplandırmak, suyun geldiği formasyonu tahmin etmek, baz değişmesi ve sülfat indirgenmesi olup olmadığını anlamak ve su tiplerini belirlemek mümkündür. Bu şekilde yorumlar yaparken, aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmelidir.

1. Yarı logaritmik diyagrama çizilen su analizlerinde, kırık çizgileri birbirine paralel sular, aynı tür formasyonundan gelen sulardır. Şekil 18 de 1 ile 2 ve 3 ile 6 numaralı sular aynı kökenli sulardır. Bu şekilde 2 sudan, diyagramda daha alt kısımda bulunan beslenme sahasına daha yakındır. Şekil 18 de 2 numaralı su 1 numaralıya göre, 3 numaralı su 6 numaralıya göre daha tazedir.

2. Sodyum ve klorür değerleri birbirine yakın (Na^+ ile Cl^- değerlerini birleştiren çizginin eğimi küçük) ve hakim iyonlar Ca^{+2} ile HCO_3^- ise, su kalker formasyonlarından gelmektedir. Şekil : 18 de 3 ve 6 numaralı sular kireçtaşı sularıdır. Böyle bir suda Ca^{+2} değeri Mg^{+2} değerinden yüksek ise, suyun temas ettiği kalker karasal kökenli, bunun tersine ise denizel kökenlidir. Aynı şekilde, dolomit sularında da Mg^{+2} değeri Ca^{+2} a eşit veya daha yüksektir.

3. Diyagramda sülfat değeri diğer iyonlara göre çok düşükse, su sülfat indirgenmesine uğramış demektir. Şekil : 18 de 4 numaralı su böyle bir suyu göstermektedir. (Sülfat indirgenmesi için bakınız, bölüm: 6.3.3.)

4. Toplam tuz miktarı yeterince yüksek olduğu halde klorür ile sodyum değerleri bir hayli farklı ise, bu suda baz değişimi olmuş demektir. Böyle sular muhtemelen killere uzun süre temas ederek baz değişimine uğramıştır. (Baz değişimi için bakınız bölüm: 6.3.2) Şekil: 18 de 5 numaralı su baz değişimine uğramış bir suyu göstermektedir.

5. Diyagramda hakim anyon sülfat ve bikarbonat da kısmen düşük ise, böyle bir su fazlaca jips çözmüş demektir. (Bakınız bölüm 6.2.4) Şekil 18 de 1 ve 2 numaralı sular bu tür jipsli zemin sularını göstermektedir.

9.5. Su Kimyası Haritaları

Belirli bir etüt sahasının yeraltısuyu kalitesini incelerken her kuyuyu tek tek ele almak gerekirse de karar alıcıya kolaylık sağlaması bakımından, sahadaki bütün yeraltısularının kalite durumunu topluca göstermek uygun olur. Bu amaçla, su kimyası verilerini daha anlamlı ve kullanışlı şekilde ifade edebilen su kimyası haritaları hazırlanır. Özellikle farklı kalitelerde sular ile, kullanılması uygun olmayan suların bulunduğu sahalarda, bu tür haritalar son derece faydalıdır.

Su kimyası haritalarının kapsamı amaca göre değişir. Genellikle bu haritalarda eş öziletkenlik (EC) eşklorür, sülfat bor veya $\% \text{Na}^+$ konturlarından biri veya birkaçı çizilir.

Amaç kaliteyi bozan unsurların ve kullanılamaz su sınırlarının belirtilme-
sidir. Bu haritalarda suların tiplerine göre de ayrı ayrı işaretlenir.
Yani sular karbonatlı klorürlü veya sülfatlı diye gösterilebilir.

Su kimyası haritası hazırlanırken önce, kuyular harita üzerine
işaretlenir. Sonra hangi konturlar çizilecekse kuyuların üzerine değerler
yazılır ve uygun aralıklarla eşdeğer noktalar bulunarak konturlar çizilir.
Genellikle EC için 250,750,2250 micromho/cm; Cl^- ve SO_4^{2-} için 5,10,20
mek/l; bor için 2,4 mg/l; % Na için 50,60,75 konturları çizilmektedir.

Şekil: 19 ve 20 de Muş ovası için çizilen su kimyası haritaları
görülmektedir. Haritalarda sulamaya uygunluk ve korozyon açılarından
su analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca bazı kuyuların su analiz-
leri ölçekli çubuk diyagramlar yardım ile haritada gösterilmiştir.

9.6. Hidrojeolojik Etütlerde Su Kimyası Raporunun Hazırlanması

Hidrojeolojik etütler içinde yapılan su kimyası etütlerinde,
kesinlikle uyulması gereken katı kalıplar yoktur. Burada amaç yerüstü
ve özellikle yeraltısularının kalitelerini amaca uygunlukları bakımından
ortaya koymak, kalite bozukluğu varsa sebebini açıklamak, farklı kalitede
suların kökenini araştırmak, yeraltısuyunun beslenme yönünü tesbit etmek,
kötü kaliteli su sınırını çizmek suretiyle sonraki su talepleri için
uygun olmayan sahaları belirlemek gibi hususlardır. Bu amaca ulaşmak için
mümkün olduğu ve gerektiği kadar fazla noktadan ve her bir nokta için
değişik mevsimlerde su numunesi alınarak, amaca uygun kimyasal analiz-
lerinin yaptırılması en önemli husustur. Özellikle kalite yönünden
uygunluk sınırında sular için, ne kadar fazla analiz bulunursa karar
vermek o ölçüde kolaylaşır.

Su kimyası raporunun hazırlanmasında şöyle bir sıra izlenmesi
tavsiye edilir :

1- Sahada bulunan akarsu, göl, kaynak, sığ ve sondaj kuyularının
su analizleri derlenerek ayrı ayrı tabloları hazırlanır.

2- Akarsuların ovaya giriş ve çıkışlarında, başka bir akarsu ile
birleşiyorsa birleşme yerlerinde kaliteleri incelenir. Kullanma amacına
(içme, sulama vb.) uygunluğu belirlenir.

3- Kaynak sularının kaliteleri ortaya konulur, mümkünse mevsimlik
kalite değişimleri incelenir. Çıktıkları formasyonlara göre kalite
farklılıkları varsa gruplandırılır. Bu amaçla yarı logaritmik diyagram-
lardan faydalanılır. ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox Diyagramları
kullanılarak suların sulamaya uygun olup olmadığı araştırılır.

4. Sığ kuyular için aynı şekilde sulamaya uygunluk araştırılır. Bu kuyularda bir kalite problemi varsa, EC, Cl^- , $SO_4^{=}$, B, vs. konturları çizilerek kötü kaliteli suya sahip bölgeler ayrılır.

5. Aynı işlemler sondaj kuyu suları için yapılır. Yukardaki bölümde anlatılan su kimyası haritaları hazırlanarak, kalite yönünden yeraltısuyu işletmesine uygun olan ve olmayan sahalara ayrılır. Yarı logaritmik diyagramlar kullanarak birbirleriyle ilişkili sular belirlenir. Suyu değişik birkaç akifer geçen kuyu varsa, her akiferin analizleri değerlendirilerek düşey su kalitesi değişimleri ortaya konulur. Gerekirse bu amaçla derinlemesine tuzluluk ölçümleri yapılır. Özellikle deniz suyu girişimi olan sahalarda buna dikkat edilmelidir.

6. Beslenme yönünün tayini ve yanıl beslenmelerin incelenmesi amacı ile kimyasal kesitler hazırlanır. Bu amaçla su kimyası haritalarındaki EC konturlarından faydalanılabilir. Bilindiği gibi suyun EC si akım yönünde artar.

7. Etüt sahasında toprak tasnif haritaları varsa, sahanın su ve toprak kalitesi birlikte değerlendirilerek daha güvenilir sonuçlara varılır.

8. Etüt sahasındaki sular korozyon açısından incelenerek suyun koroziv veya kireçlendirici olup olmadığı tesbit edilir. Bu amaçla kuyubasında ölçülmüş PH değerleri kullanılarak Langelier denge indeksi (bölüm 4.2.6) metodu kullanılabilir. Ayrıca su ve zemindeki korozyonu artırıcı faktörler dikkate alınmalıdır.

E K L E R

1. ELEMENTLERİN SEMBOL VE ATOM AĞIRLIKLARI TABLOSU
2. BAZI MİNERALLERİN KİMYASAL FORMÜLLERİ VE SUDAKİ ÇÖZÜNÜRLÜKLERİ
3. SU NÜMUNESİ ALMA YÖNTEMLERİ
4. A. DENİZ SUYUNUN KİMYASAL BİLEŞİMİ
B. TÜRKİYE DENİZ SULARININ KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI
5. SULARDA SERTLİĞİN GİDERİLMESİ
6. SULARDA TAD VE KOKU YAPAN CANLILAR VE BUNLARI GİDERME METOTLARI

EK: 1- ELEMENTLERİN SEMBOL VE ATOM AĞIRLIKLARI

Adı	Semb.	At.No.	At.Ag.	Adı	Semb.	At.No.	At. Ag.
Aktinyum	Ac	89	227	Lityum	Li	3	6.940
Altın	Au	79	197.0	Lütesyum	Lu	71	174
Aluminyum	Al	13	26.98	Magnezyum	Mg	12	24.32
Amerisiyum	Am	95	243	Mangan	Mg	25	54.94
Antimon	Sb	51	121.76	Mendelviyum	Md	101	256
Argon	Ar	18	39.944	Molibden	Mo	42	95.95
Arsenik	As	33	74	Neodiminyum	Nd	60	144.27
Astatin	At	85	210	Neon	Ne	10	20.183
Einsteinyum	Es	99	254	Neptünyum	Np	93	237
Azot	N	7	14.008	Nikel	Ni	28	58
Bakır	Cu	29	63.54	Niyob	Nb	41	92.91
Baryum	Ba	56	137.36	Nobelium	No	102	253
Berilyum	Be	4	9.013	Oksijen	O	8	16.000
Berkelyum	Bk	97	249	Osminyum	Os	76	190.2
Bizmut	Bi	83	209.0	Europiyum	Eu	63	152.0
Bor	B	5	10.82	Palladyum	Pd	46	106.4
Brom	Br	35	79	Platin	Pt	78	195.09
Cıva	Hg	80	200.61	Plutonyum	Pu	94	242
Çinko	Zn	30	65.38	Polonyum	Po	84	210
Demir	Fe	26	55.85	Potasyum	K	19	39
Disprosyum	Dy	66	162.51	Praseodyum	Pr	59	140
Erbium	Er	68	167.17	Promesyum	Pm	61	145
Fermiyum	Fm	100	255	Protaktinyum	Pa	91	231
Fluor	F	9	19.00	Radyum	Ra	88	226.05
Fosfor	P	15	30.975	Radon	Rn	86	222
Fransiyum	Fr	87	223	Renyum	Re	75	186.22
Gadolonyum	Gd	64	157.26	Rodyum	Rh	75	186.22
Galyum	Ga	31	69.72	Rübidyum	Rb	37	85.48
Germanyum	Ge	32	72.60	Rütenyum	Ru	44	101.1
Gümüş	Ag	47	107.800	Samariyum	Sm	62	150.35
Hafniyum	Hf	72	178.50	Skandiyum	Sc	21	44.96
Helium	He	2	4.003	Selenyum	Se	34	78.96
Hidrojen	H	1	1.008	Seryum	Ce	58	140.13
Holmiyum	Ho	67	164.94	Sezyum	Cs	55	132.91
İndiyum	In	49	114.82	Siliyum	Si	14	28.09
İridyum	Ir	77	192.2	Sodyum	Na	11	22.991
İyot	I	53	126.91	Stronsiyum	Sr	38	87.63
Kadmiyum	Cd	48	112.41	Tantal	Ta	73	180.95
Kalay	Sn	50	118.70	Talyum	Tl	81	204.39
Californiyum	Cf	98	249	Teknesyum	Tc	43	99.
Kalsiyum	Ca	20	40.08	Tellür	Te	52	127.61
Karbon	C	6	12.011	Terbiyum	Tb	65	158.93
Klor	Cl	17	35.457	Titan	Ti	22	47.90
Kobalt	Co	27	58.94	Toryum	Th	90	232.05
Kripton	Kr	36	83.80	Talyum	Tm	69	169.94
Krom	Cr	24	52.01	Uranyum	U	92	238.07
Ksenon	Xe	54	131.30	Vanadiyum	V	23	50.95
Kurşun	Pb	82	207.21	Volfram	W	74	183.86
Kükürt	S	16	32.066	Ytterbiyum	Yb	70	173.04
Curiyum	Cm	96	245	Yitriyum	Y	39	88.92
Lantan	La	57	138.92	Zirkonyum	Zr	40	91.22
Lavransiyum	Lw	103					

EK : 2 - Bazı minerallerin kimyasal formülleri ve sudaki çözünürlükleri

Kısaltmalar

Be: Beyaz	Gr : Granül	Rks : Renksiz	As : Asit
Kh: Kahverengi	Hek : Hekzagonal	Çzm : Çözünmez	Al : Alkol
Kr: Kırmızı	Kü : Kübik	Dek : Dekompozisyon	Alk : Alkali
Sa: Sarı	Mon : Monoklinik	Kri : Kristal	Gli : Gliserin
Si: Siyah	Rom : Rombik	Sey : Seyreltik	Et : Eter
Ye: Yeşil	Tri : Trigonal	Çöz : Çözünür	

Adı	Formülü	Rengi ve Kris. Şekli	Özg. Ag. g/cm ³	Sudaki çözünür ppm. Soğuk su	Diğer Özellikler Sıcak su
Aluminyum hidroksit (boksit)	Al (OH) ₃	Be, mon.	2,42	1,04, 18°C	Çzm. As. ve Alk. de çöz.
Aluminyum oksit (Corundum)	Al ₂ O ₃	Be, tri.	4,00	çzm.	Çok parlak, As. de çöz.
Alu. potas. sil. (muscovite)	3Al ₂ O ₃ ·K ₂ O·6SiO ₂ ·2H ₂ O	Mon.	2,9	çzm.	Çzm.
Alu. potasyum silikat (Orthoclase)	Al ₂ O ₃ ·K ₂ O·6SiO ₂	Rks. veya be. mon.	2,56	çzm.	Çzm.
Alu. sodyum fluorid (Cryolite)	AlF ₃ ·3 NaF	Be., mon	2,90	çzm.	Çzm.
Arsenik di sülfid (Realgar)	As ₂ S ₂	Kr., mon	3,506	çzm.	dek. K ₂ S ve NaHCO ₃ çöz. HNO ₃ de çöz.
Arsenik penta sülfid	As ₂ S ₅	Sa.		1,36.0°C	
Arsenik oksit	As ₂ O ₃	Şekilsiz, camı	3,738	1,2.10 ⁴ 0°	2,9.10 ⁴ 40° HCl. de çöz.

Adı	Formülü	Rengi ve kris. şekli	Özg. Ağ. g/cm ³	Sudaki Çözünürl. ppm, Soğuk su	Sıcak su	Diğer Özellikler
Baryum karbonat (witherite)	Ba CO ₃	Be., rom.	4,29	22	18° 65	100° As de çöz.
Baryum sülfat (barit)	Ba SO ₄	Rks., rom	4,45	1,15	0° 2,85	30° Derişik H ₂ SO ₄ de az çöz.
Kalsiyum karbonat (aragonit)	Ca CO ₃	Rks. veya be., rom.	2,93	12	20° 20	100° As de çöz.
Kalsiyum karbonat (kalsit)	Ca CO ₃	Rks. veya be., hek.	2,711	14	25° 20	100° As de çöz.
Kalsiyum klorid (hidrofilid)	Ca Cl ₂	Be.	2,152	5,9.10 ⁵	0° 3,5.10 ⁶	260° Havadan çektiği su ile eriyebilir.
Kalsiyum florid (florit)	Ca F ₂	Be., kü.	3,18	16	18° 17	26° As de çöş. parlak
Kals. Mg. karbonat (dolomit)	Ca O. MgO. 2CO ₂	Tri.	2,872	320	18°	
Kals. Mg. silikat (silopait)	Ca O. MgO. 2SiO ₂	Be. mon.	3,3	Çzm.	Çzm.	
Kalsiyum sülfat (gips)	CaSO ₄ . 2H ₂ O	Rks. veya be. mon.	2,32	2,23.10 ³	0° 2,6.10 ³	50° As ve gli. de çöz.
Demir oksit (hematit)	Fe ₂ O ₃	Kr. veya si., tri.	5,12	Çzm.	Çzm.	HCl de çöz.
Demir oksit (magnetit)	Fe ₃ O ₄	Si. kü.	5,2	Çzm.	Çzm.	Alk. de. çzm.
Demir oksit	FeO	Si.	5,7	Çzm.	Çzm.	As. de. çöz.
Demir sülfür	FeS	Si., hek.	4,84	6,16	18°	As. de çöz.
Demir di sülfür (pirit)	FeS ₂	Si. kü.	5,0	5	...	Sey. as. de çzm.

Adı	Formülü	Renği ve kırı- şekli	Özgül ağırlık g/cm ³	Sudaki çözünürlük ppm Soğuk suda	DİĞER Özellikler
Potasyum silikat	K_2SiO_3	Hiçrenkoplak	.....	Çözünür	Alk.de çözünmez
Potasyum tetra- silikat	$K_2Si_4O_9 \cdot H_2O$	Bcm.	2.417	Çözünür	Alk.de çözünmez
Potasyum klorür	KCl	Bkz., kıl.	1.988	% 27.6 0°	% 56.7 100°
Potasyum silikat (Arumite)	K_2SO_4	Bkz., rom.	2.662	% 7.35 0°	% 24.1 100°
Potasyum karbonat	K_2CO_3	Bkz.	2.29	% 105.5 0°	% 156 100°
Sodyum karbonat (Soda)	Na_2CO_3	Heyal toz	2.533	% 7.1 0°	% 48.5 104
Sodyum klorür (sifre tuzı)	NaCl	Bkz., kıl.	2.163	% 37.5 0°	% 39.8 100°
Sodyum silikat	Na_2SiO_3	Bkz., rom.	.....	Çözünür	Çözünür
Sodyum metasilikat	$Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$	Bcm.	.....	Çok çöz.	Çok çöz.
Sodyum silikat (Thénardite)	Na_2SO_4	Bkz., rom.	2.698	% 5 0°	% 42 100°
Çinko oksit (Zincite)	ZnO	Bkz., kek.	5.606	4.2 0°	.....
Çinko peroksit	ZnO ₂	Bkz.	1.571	22	.....
Çinko silikat	ZnSiO ₃	Bkz., veya rom.	3.52	çzm.	çzm.
Çinko silikat	ZnSO ₄	Bkz., rom	3.74	% 42 0°	% 61 100°
Çinko silikat (Zincite)	ZnS	Bkz., gr	4.04	çzm.	çzm.
					As.de çözü- As.de dek.
					Alk.de çözünmez

Adı	Formülü	Rengi ve kırı şekli	Üzg.4s. g/cm ³	Sudaki çözünürlük,ppm Soğuk suda Sıcak suda	Diğer özellikler
Sodyum tetra borat (Foraks)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Be.,mon.	1.73	% 1.3 % 20.3 80°	Gli.de çöz.
Bor oksit	B_2O_3	Rks.	1.85	% 1.1 0° % 15.7 100°	As.,al.ve gli. de çöz.
Borik asit	H_3BO_3	Be.trig.	1.435	% 2.66 0° % 40.2 100°	Gli.ve et.de çöz.
Magnezyum alüminat (Spinel)	$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	Rks.,kü	3.6	çzm.	Sey.HCl de çöz.
Magnez. karbonat (Magnezit)	MgCO_3	Be.,tri.	3.037	106	As.de çöz.
Magnez karbonat (lesquehonite)	$\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Rks.,rom	1.852	1518 19° dek.	As.de çöz.
Hidromagnezit	$3\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2$	Be.,rom.	2.16	400 110	As.de çöz.
Magnez.hidroksit (Frucite)	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	Be.tri.	2.4	9 18°	Amonyum tuzl. çöz.
Magnezyum oksit (Magnezya)	MgO	Rks.,kü.	3.65	6.2	As.ve amony.tuz. çöz.
Kurşun Sulfür (Galen)	PbS	Grı,kü	7.5	0.9 18°	As.de çöz.
Kurşun silisat	PbSiO_3	Rks.,mon.	6.49	çzm.	As.de çöz.
Langan Karbonat Rhodocrosite	Ln CO_3	Gül rengi,tri	3.125	65 25°	CO_2 ile çözün. artar.
Langan oksit	LnO	Grı,ye.,kü.	5.18	çzm.	As.de çöz.
Langan oksit	Ln_2O_3	kh.,si.,kü	4.81	çzm.	As.de çöz.
Langan oksit	LnO_2	si.	5.03	çzm.	HCl de çöz.

EK:3- SU NUMUNESİ ALMA YÖNTEMLERİ

Su kimyası çalışmalarında en basit görünen, aslında en önemli olan konu su numunesinin alınmasıdır. Çünkü hem analizler, hem değerlendirilmeler standart metotlara bağlanmış ve büyük ölçüde rutinleşmiştir. Ayrıca bu sonuçların mantıksal ve karşılaştırmalı kontrolü mümkündür.

Numune alma ise, çoğu zaman bir boş kabin sözkonusu su ile doldurulması şeklinde basit görülür ve bu yüzden çok hatalı numuneler alınır. Yanlış alınmış bir numunenin vereceği sonuçlardaki hata sonuna kadar taşınır. Bu bakımdan bir su hakkında hiç bilgi edinmemek, çoğu zaman yanlış bilgi edinmekten daha iyidir.

Ülkemizde su analizi yapan kuruluşlarda numune alma işi genellikle farklıdır. Halbuki konu ile ilgili olarak, TS 266 içme suyu standartlarında numune alma yöntemleri tesbit edilmiştir. Aşağıda verilen yöntemler TS 266 dan aynen alınmıştır. Bu yöntemler sadece memba ve içme suları için verilmiştir.

1. Kimyasal Analizler İçin Numune Alma :

Kimyasal analizler için en az iki litre numuneye ihtiyaç vardır. Bu miktar suların normal kimyasal analizleri için yeterlidir. Ayrıca zehirli maddelerin tayini gerekiyor ise alınacak numune en az 15 litre olmalıdır.

Su, renksiz ve kimyasal olarak temiz, camdan yapılmış şişelere konulacak ve şişelerin ağzı sağlam bir şekilde temiz bir kapakla kapatılacaktır.

Şişe numune alınmadan önce, numune alınacak su ile en az üç defa çalkalanmalıdır.

Radyoaktivite ölçümü için numune alınırken cam şişe yerine polietilen şişe kullanılmalıdır. (Silisyum analizi için de polietilen şişe kullanılmalıdır. (Silisyum analizi için de polietilen şişe kullanılmalıdır.)

Bu numuneleri aşağıdaki şekilde alınır.

1.1. Kaynaklar :

Kaynaklarda özellikle küçük debili olanlarda, suyun çıktığı noktada iyice temizlenmiş bir bula veya demir boru zemine sokulacaktır.

Büyük debili ve göllenmiş kaynaklarda (dipteki ince taneli zeminin kaynaşmasıyla veya başka bir suretle tesbit edilecek) gözelerden birine iyice temizlenmiş, sivri uçlu ve ucunda itibaren birkaç santimetrelilik kısmında delikler bulunan yeteri uzunlukta demir bir boru saplanır. Böylece borudan en az altı saat su akıtıldıktan sonra numune alınır.

1.2. Göller ve Akarsular :

Numune şişesi göl veya akarsuyun kenarından en az bir metre uzaklıkta ağzı açık ve başaşağı tutularak suya sokulacak ve şişe yüzeyden yaklaşık olarak 50 cm. derinlikte ters çevrilmek suretiyle doldurulacaktır. Yüzey özelliklerinin tesbiti gerekiyorsa ayrıca yüzeyden de numune alınacaktır.

1.3. Adi kuyular, Borulu Kuyular ve Drenajlar :

Numune alma işinde kullanılacak tulumba ve borular, litresinde 10 mg aktif klor bulunan klorlu su ile dezenfekte edilecekler, aralıksız olarak en az 48 saatlik bir pompalamadan sonra su numunesi alınacaktır.

1.4. Şehir Şebekeleri :

Mevcut bir şebekeden su numunesi, kaptajlardan, maslaklardan, dağıtım depolarının çıkış borularından, tasfiye tesislerinin giriş ve çıkışlarından ve musluklardan alınacaktır.

Aynı kaynaktan birkaç numune alınacak ise bakteriyolojik analiz için alınacak numune ilk önce alınmalıdır.

Numuneler alındıktan en fazla 72 saat sonra analize bağlanılmak üzere laboratuvara gönderilmiş olmalıdır.

Şişeler Üzerine aşağıdaki bilgileri gösteren bir etiket ilâştirilmelidir.

Suyun adı	:
Suyun yeri	:
Numunenin alındığı tarih	:
Numuneyi alanın adı	:
Numunenin menşesindeki sıcaklık	:
Yapılacak olan analiz cinsi	:

İzahat : (Bu kısma, suyun daha önce bir işleme tabî tutulup tutulmadığı, hava şartları, su seviyesi, akış hızı, kabılcı debisi vb. bilgi yazılacaktır.)

2. Bakteriyolojik Analizler İçin Numune Alma :

Bakteriyolojik muayeneler için su numuneleri 180°C lik kuru sıcaklıkta bir saat sterilize edilmiş, tercihen 100 ml. lik nötr ve renkli şişeler içerisinde gönderilmelidir. Şişelerin kapakları şişeye iyice uyabilen Steril, traşlı cam kapak, mantar veya kauçuk olabilir. Cam kapak, kauçuk ve mantar tıplarının her biri ayrı ayrı olmak üzere ambalaj kağıtlarına sarılarak sterilize edilmelidir. (Mantar ve lastik kapaklar otoklavda 120°C de 15 dakika Sterilize edilmelidir.)

Şişeler, tıpların seviyesine kadar su ile doldurulmalıdır. Şişeler içerisinde hava kabarcığı bırakılmamalıdır. Klorlamaya tabi tutulan veya içerisinde az miktarda dahi olsa klor veya kloramin bulunan sular, özellikleri yukarıda verilen ve içerisinde % 1,5 sodyum tiyosülfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ damıtık suda çözülür ve 120°C de 15 dak. strelize edilir, sonra 100 ml. şişeler bu çözeltiden 0,25 ml.konur.) bulunan şişelere alınmalıdır.

2.1. Su Numunesinin Çeşmelerden Alınması :

Çeşmenin musluk kısmı bir alevde kızgın dereceye gelinceye kadar yakılır. Su yarım saat bütün kuvveti ile akmaya terkedilir. Şişelerin ağzı ve mantarın şişenin ağzına girecek kısmı el değmemek şartıyla alkol alevinden geçirilir. (Mantarın kömürleşmesine ve şişenin çatlamasına meydan verilmeden alevden geçirme) ve sonra doldurulur. (Şişelere musluktan su doldururken el veya parmaklardan suyun süzülerek akmaması için şişeler dip taraflarından tutulmalıdır.)

2.2. Su Numunesinin Kaynaktan Alınması :

Açık olan güzeyi hayvan dışkılarının bulaştırma ihtimallerini önlemek için iyice temizlenmiş, kaynatılmış veya yıkanmış demir veya cam boru, güzeye veya güzenin bir metreye kadar olan çevresine batırılır. Bu borudan bir gece su akıtılır. Sonra musluktan numune alınmasıandaki esaslara uyularak numune alınır.

2.3. Dere, Göl veya Nehirden Numune Alınması :

Numune sahilinden en az bir metre uzaklıktan alınmalıdır. Numunenin akarsu veya gölün belirli bir derinliğinden alınması isteniliyorsa o taktirde şişenin ağzı açılır. El yıkanıp alkollendikten sonra şişenin ağzı dikine olarak suya batırılır. İstenilen derinlikte dolabilmesi için şişe ağzı yukarıya doğru çevrilir.

2.4. Kaptaj, Drenaj, Depo veya Sarnıçtan Numune Alınması :

Eller sabunlu su ile iyice yıkanıp alkollenmelidir. Steril numune şişesinin her tarafı bol alkollü pamukla silinir ve alkole batırılarak bir sicim şişenin boynuna bağlanır. Şişenin ağız kısmı alazlanır. şişe, numune alınacak olan yere daldırılmak suretiyle doldurulur. Sonra itinayla çekilir ve kağıda sarılı olan steril mantar alev altında açılır ve el değdirilmeden kapatılır.

2.5. Adi kuyu veya Borulu Kuyudan Numune Alınması :

Adi kuyularda madde 2.4 deki gibi işlem yapılacaktır. Borulu kuyularda aşağıdaki şekilde işlem yapılacaktır.

a. İlk açılan borulu kuyularda pompalama ile numune alınacağından pompalama işinde kullanılacak tulumba ve borular litresinde 10 mg aktif klor bulunan klorlu su ile dezenfekte edilecektir. En az 48 saatlik devamlı bir pompalamadan sonra madde 2.1. deki esaslar dahilinde numune alınacaktır.

b. Halen kullanılmakta olan borulu kuyulardan numune alınması madde 2.1. deki esaslar çerçevesinde ceryan edecektir.

2.6. Kaynak Buları ile İlgili Şişe Doldurma Yerlerinden Numune Alınması :

Madde 2.1. deki esaslara uyulacaktır. Ancak su, akıtılmadan, şişe dolmadan bükteninden doğrudan doğruya alınacaktır.

Numune şişelerinin kirlendiğine dair en küçük bir şüpheden hareket etmesi halinde yeniden numune alınmalıdır.

Bakteriyolojik muayene için alınan su numuneleri hızlı araçlarla laboratuvarlara gönderilmelidir. Numunelerin alınışı ile laboratuvara gönderilişi arasında geçen süre ne kadar uzun olursa alınacak olan neticelere o kadar az güvenir. Su içerisinde bulunan etkenler (bakteriler, fajlar ve muhtelif plaktonlar) aracılığı ile özelliğini çok kısa bir süre içinde değiştirdiğinden derhal kontrole bağlanmalıdır. Numune kontrole kadar suyun alındığı sıcaklıkta veya hiç olmazsa buzdolabında, buz içinde saklanmalıdır. Su numuneleri alındıktan en geç 48 saat içinde muayene edilmelidir. 48 saat veya daha uzun beklemiş olan su numunelerinde bakteriyolojik muayene yapılamaz. 6 saati geçmiş, normal sıcaklıkta tutulmuş ve içinde hava boşluğu bulunan sularda jerm sayımları yapılamaz.

3. Radyoaktif Muayene İçin Numune Alma :

Radyoaktif ölçümler için ayrıca, en az bir litre suya ihtiyaç vardır. Bu su ayrı olarak ve çift kapaklı polietilen şişeler içinde laboratuvara getirilmelidir.

4. Numune Alma Sıklığı :

4.1. Kimyasal Analizler İçin :

Kaynakta zehirli maddelerin az da olsa bulunduğu biliniyorsa veya su kaynağına endüstri artıkları katılması gibi haller mevcut ise su kaynağı zehirli maddeler bakımından en az üç ayda bir kontrol edilmelidir.

Genel kimyasal deneyler için 50.000 den fazla nüfuslu yerlerde en azından üç ayda bir defa, 50.000 e kadar nüfuslu yerlerde en azından yılda iki defa numune alınmalıdır.

4.2. Bakteriyolojik Analizler İçin :

a. Herhangi bir epidemi veya tehlikeli bir kirlenme muhtemelee, adı geçen sudan günde en az değişik zamanlarda 5 numune alınarak koliform bakterileri bakımından muayene edilmelidir.

Bir su epidemisi bahis konusu olursa, bir litreden az olmamak şartı ile temiz ve koyu renkli (koyu renkli şişeler bulunmadığı takdirde siyah karbon kağıtlarına sarılı şişeler de kullanılabilir.) Şişelere alınan numunelerde su epidemisine sebep olabilen etkenler alışlagelmiş bakteriyolojik usullerle aranır.

b. Şebekelere verilen ve dezenfekte edilmemiş suların bakteriyolojik muayenesi aşağıdaki verilen esaslara göre uygulanacaktır.

2.000 - 10.000 nüfuslu yerlerde	:	iki ayda bir defa
10.000 - 20.000 " "	:	ayda bir defa
20.000 -100.000 " "	:	iki haftada bir defa
50.000 -100.000 " "	:	Dört günde bir defa
100.000'den fazla " "	:	Her gün

İki muayene arasındaki aralıklar yukarda verilen sürüler ile tesbit edilmiş olmakla beraber 20.000 - 100.000 nüfuslu yerlerde her 5000 nüfus için bir numune düşecek şekilde numune alınacak ve kontrol edilecektir.

Ek : 4/A - DENİZ SUYUNUN KİMYASAL BİLEŞİMİ

Element	Konsantrasyon	
	mg/l	mek/l.
Klorür	18900	533.0
Sodyum	10560	459.3
Magnezyum	1272	104.6
Sülfat	2560	53.3
Kalsiyum	400	20.0
Potasyum	380	9.7
Bikarbonat	142	3.3
Bör	4.6	1.3
Bromür	65	0.8
Stronsiyum	13	0.3
Fluor	1.4	0.1
Aluminyum	0.2 - 2.0	0.02 - 0.1
Rübityum	0.2	
Lityum	0.1	
Baryum	0.05	
İyodür	0.05	
Silikat	0.04 - 8.6	
Azot	0.03 - 0.9	
Çinko	0.005-0.014	
Kurşun	0.004-0.005	
Selen	0.004	
Arsenik	0.003-0.024	
Bakır	0.001-0.09	
Kalay	0.003	
Demir	0.002-0.02	
Sezyum	0.002	
Mangan	0.001-0.01	
Fosfor	0.001-0.1	
Toryum	0.0005	
Civa	0.0003	
Uranyum	0.00015 - 0.0016	
Kobalt	0.0001	
Nikel	0.0001 - 0.0005	
Radyum	$8 \cdot 10^{-11}$	
Berilyum	-	
Kadmiyum	-	
Krom	-	
Titan	Eser	

Kaynak : Handbook of Chemistry and Physics, S.M.Selby, S. 3488

EK : 4 / B - TURKIYE DENİZ SULARININ KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI

	Mersin	İzmir-Konak	İzmit	Samsun	Tuz Gölü
pH	8,2	8,2	8,0	8,3	8,3
EC, micromho/cm.	70.000	70.000	42.000	34.000	610.000
Na ⁺ , mg/l.	12190	12202	6900	5632	99.820
K ⁺ "	437	406	242	172	3000
Ca ⁺⁺ "	466	410	309	248	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺
Mg ⁺⁺ "	1407	1356	852	559	761.0 mek/l.
CO ₃ ⁼ "	8	7	6	31	0.0
HCO ₃ ⁻ "	151	168	243	150	567
Cl ⁻	19999	20600	12200	9930	197690
SO ₄ ⁼	5470	4267	2090	1560	22618
Toplam tuz	44800	44800	26880	21760	390 000
Yoğunluk	1,023	1,020	1,011	1,001	...
Sertlik PS ^o	695	660	478	333	3805
Organik mad.	13.68	18.40	17.20	8,00	...

(...) Analizi bulunmayan

EK : 5- SULARDA SERTLİĞİN GİDERİLMESİ

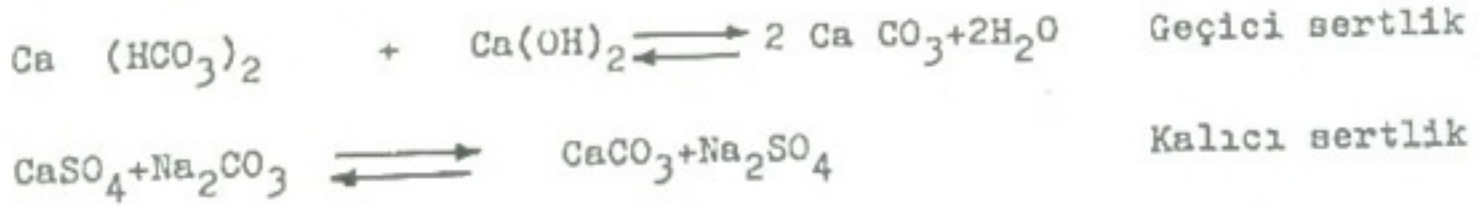
Şularda sertliğin giderilmesi, sertlik yapan elementleri çeşitli şekillerde sudan ayırmakla mümkündür. Endüstride ve bazı imalat işleminde yumuşak su kullanmak bazen zorunludur. (Tekstil, konserve, kağıt, deri, buz, nişasta vs. üretiminde olduğu gibi) Bununla birlikte yumuşak su endüstri dışında da tercih edilebilir. Mesela sabun tüketimini azalttığı ve tesisatlarda kireçlenmeleri önleyeceği için ekonomiktir.

Sular başlıca iki yoldan yumuşatılır.

- 1- Kimyasal madde ilavesi
- 2- İyon değiştiriciler kullanmak

Kimyasal madde ilavesi ile su yumuşatılmasının esası, suya sertlik veren iyonları çözünmeyen bileşikleri halinde çöktürecek kimyasal maddeler ilave etmektir. Bu amaçla kireç Ca(OH)_2 ve soda Na_2CO_3 en çok kullanılan maddelerdir. Ayrıca NaOH ve Na_3PO_4 da kullanılmaktadır.

Geçici sertlik veren tuzları kireç, kalıcı sertlik verenler ise soda ilavesi ile çöktürülür. Kireç doymuş çözeltisi halinde, soda suyun sertliğine göre uygun bir konsantrasyonda (mesela % 10 luk) suya karıştırılır. Ne kadar kireç ve soda kullanılacağı şu denklemlere göre hesaplanmalıdır.



Sertliğin tarifine göre, bir litre suda 10 mg CaCO_3 varsa sertliği IFS^0 dir. Bu tariften çıkarak stokiometrik olarak sertliği giderecek kireç ve soda miktarı hesaplanır.

Geçici sertliği, kalıcı sertliğine eşit sular için sadece NaOH kullanılarak sertlik giderilebilir.



Geçici sertlik veren maddelere NaOH in etkisi ile soda meydana gelir. Reaksiyon devam eder ve meydana gelen soda suyun kalıcı sertliğini gidermekte harcanır.



Kireç-soda metodu ile suyun sertliği (20°C de) 6-7 FS⁰ ne kadar düşürülebilir. Meydana gelen CaCO₃ az da olsa suda çözündüğü için sertlik sıfıra düşmez.

Sertlik veren maddeler tersiyer fosfat halinde çöktürülürse fosfatların çözünürlüğü daha az olduğun az sertlik 1 FS⁰ ne kadar düşürülebilir.



İyon değiştiricilerle sertliğin giderilmesi, sertlik veren iyonları başka iyonlarla değiştirmek esasına dayanır. Bu amaçla zeolit, ve bazı reçineler kullanılır. Zeolit sudaki Ca⁺² ve Mg⁺² iyonlarını alarak yerine suya Na⁺ iyonu verir. Değişebilecek Na⁺ iyonu bitince rejenerasyonla tekrar Na⁺ iyonu verir. Bu amaçla tuzlu su kullanılır. Zeolit ile sertlik 1 FS⁰ ne kadar düşürülebilir.

EK : 6- SULARDA TAD VE KOKU YAPAN CANLILAR VE BUNLARI GİDERME METOTLARI

Sularda koku ve tad, bazı organik veya inorganik bileşiklerden ileri gelir. Maddenin cinsi ve miktarı kokunun şiddetini etkiler.

Koku ve tad veren başlıca organizmalar ve buhların suya verdiği koku ekli sayfada verilmiştir.

Sularda tad ve kokunun giderilmesi için uygulanan başlıca metotlar, kimyasal madde kullanma, havalandırma ve aktif kömür uygulanmasıdır.

Yosunlardan gelen koku için klorlama ve bakır sülfat etkilidir. Bu maddeler yosun yetişmesine engel olurlar. Ancak bakır sülfat belli konsantrasyonu aşınca suda yaşayan diğer canlıları da öldürebilir. Bakır sülfat tatbik edilmiş sular kullanılmadan önce havalandırılmalıdır.

Koku ve tad gidermekte kullanılan diğer kimyasal maddeler arasında potasyum permanganat, ozon ve klor dioksit sayılabilir.

Bazı tad ve koku türleri ile demirin fazlası havalandırma yoluyla giderilebilir. Ancak organik kökenli kokular bu şekilde giderilmez.

Pazla mikroorganizma üremesi ve endüstriyel atıklardan kaynaklanan tad ve kokuların giderilmesinde aktif kömür oldukça etkilidir.

Bakır sülfattan sonra bir de klorlama daha etkili sonuç verir. Ayrıca bu şekilde, bakır sülfat uygulamasından doğan kokular da giderilmiş olur.

Bir sonraki sayfada, sularda koku yapan başlıca organizmalar ile bunların giderilmesi için kullanılabilecek bakır sülfat ve klor konsantrasyonları verilmiştir. Bu organizmalar içinde kokudan başka sakıncaları da bulunanları (X) ile işaretlenmişlerdir.

SULARDA TAD VE KOKU YAPAN CANLILAR İLE BU CANLILARIN
ÖLDÜRÜLMESİNDE KULLANILAN MADDELER

Organizma	Tad ve Koku	Mg/l. CuSO ₄	Mg/l. Cl ₂
Diatomaceae			
Asterionella	Baharat, ıtır, balık	0.12-0.20	0.5-1.0
Synedra (x)	Toprak	0.36-0.50	1.0
Tabellaria	Baharat, ıtır, balık	0.12-0.50	0.5-1.0
Chlorophyceae			
Hydrodictyon (x)	Çok fena bir koku	0.10	
Pandorina	hafif balık	2.00-10.00	
Staurostrum	ot kokusu	1.50	
Volvax	Balık	0.25	0.3-1.0
Cyanophyceae			
Anabaena	Küf, ot, latın çiçeği	0.12-0.48	0.5-1.0
Aphanizomenon	Küf, ot	0.12-0.50	0.5-1.0
Coelosphaerium	Tatlı ot	0.20-0.33	0.5-1.0
Microcystis	Küf, ot	0.20	
Protozoa			
Ceratium (x)	Balık, fena koku(pas rengi)	0.24-0.33	0.3-1.0
Dinobryon	Baharat, menekşe, balık	0.18	0.3-1.0
Endamoeba histolytica			25.0-100.0
Mallomonas	Baharat, menekşe, balık	0.50	
peridinium	Balık, deniz tarağı ka- buğu	0.50-2.00	
Synura	Salatalık, balık(acı tad)	0.12-0.25	0.3-1.0
Uroglana	Balık, (balık yağı tadı)	0.05-0.20	0.3-1.0
Crustacea			
Cyclops (x)	Balık		1.0-3.0
Daphnia (x)	Balık	2.00	1.0-3.0
Schizomyceles			
Cremonix (x) (Demir bakterisi)	Fena pas kokusu	0.33-0.5	0.5
Fungus			
Leptomitia		0.40	
Diğerleri			
Kan kurdu, Chironomus (x)			15.0-50.0
Kan kurdu, gnats			3.0
Nitella (x)		0.10-0.18	

KAYNAK YAYINLAR

A. KİTAPLAR

- BAYRAMGİL, O., Petrografi, İst.Ün.Fen Fakültesi Yayınları, No : 23, İstanbul, 1959
- BERKEM, A.R., Fizikokimya, Şirketi Mürettibiye Basınevi, İstanbul, 1968
- CASTANY, G., Yeraltısuları Hakkında Pratık Uygulamalar, Çeviren : K.Karacadağ, DSİ Yayını No : 638, Ankara, 1969
- ÇAĞLAR, K.Ö., Türkiye Maden Suları ve Kaplıcaları, MTA Enstitüsü Yayını, 4 fasikül, Ankara, 1947-1961
- DUMLU, G., Kirlisu El Kitabı, DSİ Araşt.ve Gel.Da.Bşk.Yayını, No : 582, Ankara, 1975
- GAMSIZ, E., Simav Çayının Boraks Madeni Artık Suları ile kirlenmesinin Etüdü, DSİ Araşt.ve Gel.Da.Bşk.Yayını, No : 626, Ankara, 1976
- GERAGHTY and MILLER, Yeraltısuyunun Kirlenmesi, Çeviren : İ.Öncü, DSİ Jeotek.Hiz.ve YAS Da.Bşk.Yayını, Şubat, 1976
- GREGO, A., Kullanma ve İçme Suları, DSİ Yayını, Ankara, 1965
- HEM, J.D., Study and Interpretation of The Chemical Characteristics of Natural Water, Second edition, Geological Survey Water supply Paper 1473, Washington, 1970
- İSTANBUL Ün.TIP FAK.Hidro-Klimatoloji Kürsüsü, Türkiye Maden Suları, İst.Ün.Tıp Fak.Yayını, İstanbul, 1972
- MCKEE, J.E., W.W. Harold, Water Quality Criteria, The Resources Agency of California and State Water Quality Control Board, California, 1963
- LOGAN, J., Suların Kimyasal Analizlerinin Yorumlanması, Çevirenler : R.Akinci, M.Türkman, DSİ Jeotek.Hiz.ve YAS Da.Bşk., (Teksir)
- ÖZGÜL, Ş., Tuzluluk ve Sodilik, Uluslararası Sulama ve Drenaj Komisyonu Türk Milli Komitesi, Yayın No : 2, Ankara, 1974
- PERRY, J.H., Chemical Engineer's Handbook, Mc Graw-Hill Book Company Inc., New York, 1950
- REMAN, R., Şifalı Suları Kullanma İlmî Balneoloji, İstanbul, 1942
- SARACOĞLU, S., Temel Kimya, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1969

SEMAT,H., Atom ve Çekirdek Fizikine Giriş, Çey: R.Nasuhoglu, B.Tanyel,
Ank.Ün.Pen Fak.Yayını No : 98, Ankara, 1966

SCHOELLER,H., Yeraltısuları, Çev : K.Karacadağ, İstanbul, 1973

T.S.266. İÇME SULARI, TSE Yayını, birinci baskı, Ankara, 1965

TÜRMAN, M., Su Kimyası Çalışmaları Rehberi, DSİ Jeotek.Hiz.ve YAS
Da.Bşk.Yayını, Ankara,1972

B. MAKALELER

AĞACIK,G., Yeraltısuyunun Kimyasal kirlenmesi (tercüme), DSİ Teknik
Bülteni, sayı 39, sayfa 55

DOĞAN,L.,Muş Ovası Su Kimyası ve Korozyon Etüdü, DSİ Jeotek.Hiz.ve YAS
Da.Bşk.,Ankara,1974

MUTLU,R., Sulamada Tuz İndeksi, DSİ Teknik Bülteni, sayı 19, Sayfa 11

MUTLU,R., Saturasyon İndeksi ve Lagelier Diyagramı, DSİ Teknik Bülteni,
sayı 21, sayfa 30

ORUÇ,N., Doğubeyazıt Kazası ve Bazı Köylerinde Kullanılan Sularda Flor
Konsantrasyonu ve Önemi, YSE Teknik Dergisi, Sayı, 1976

ÖZKAN,A.-T.GİRİTLİOĞLU, Minerallerin Su Kalitesine Etkileri, Yeraltısuları
Teknik Bülteni, sayfa 76, DSİ Yayını No: 76, Ankara,1963

SAYGILI,N.,T.ALTAN,F.PAMUK, Kaplıca Sularımızın Uranyum ve Toplam Beta
Aktivitesi Yönünden İncelenmesi, TBTA, IV. Bilim Kongresi
Tebliğleri (Kimya Mühendisliği) Yayın No: 195, Tebliğ No : 25,
Ankara, 1974

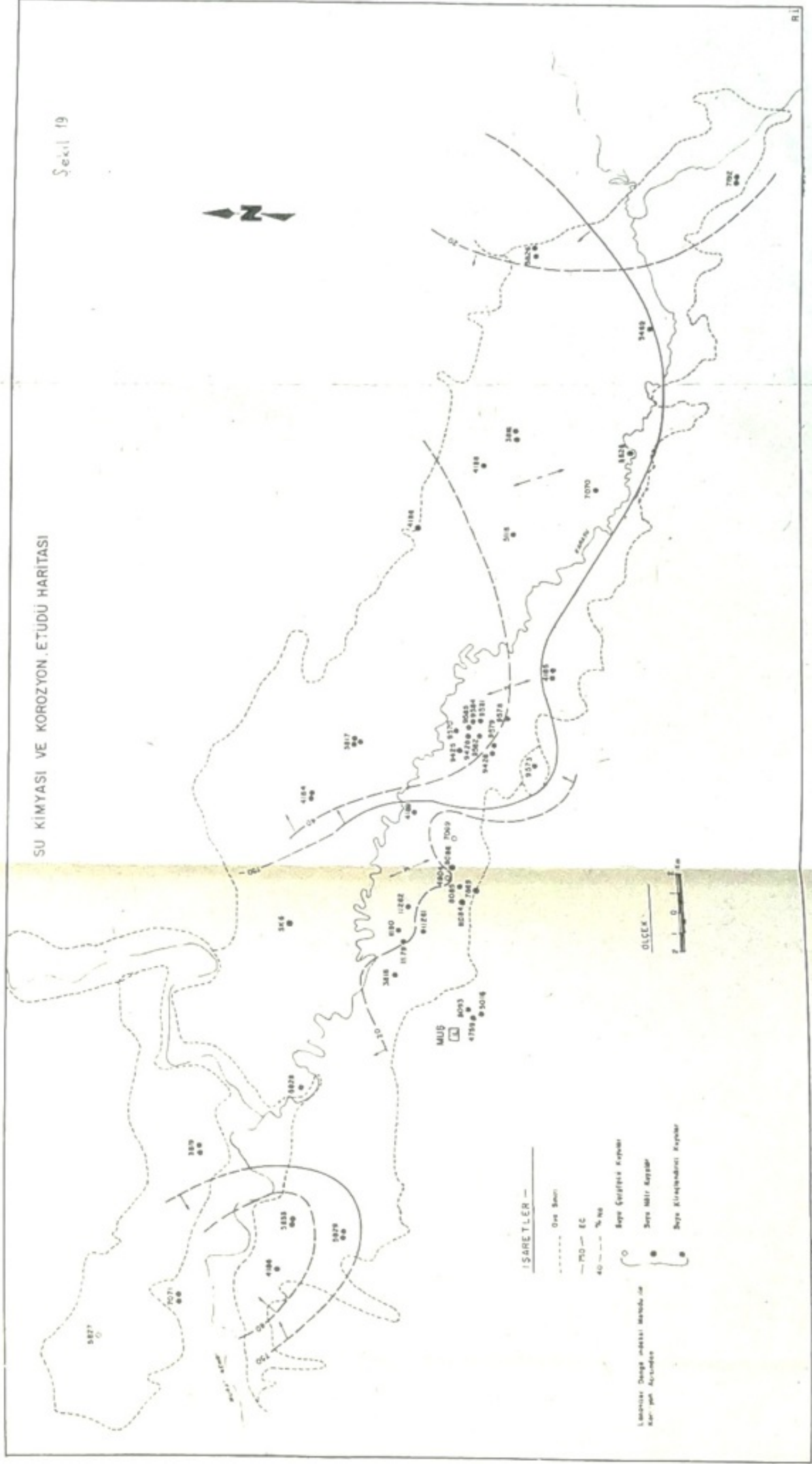
TAYGUN,N., Bir Manganez Adsorplayıcı Permutit imal Tekniği ve Sularda
Uygulanması, TBTA,IV. Bilim Kongresi Tebliğleri (Kimya Mühendisliği)
Yayın No: 195,Tebliğ No:21,Ankara,1974

YALÇIN,H.,Betonlarda Sülfat Korozyonu ve Önleyici Tedbirler, DSİ Teknik
Bülteni, Sayı 35, Sayfa 22

WOOD W.,Warren, Guidelines For Collection and Field And Field Analysis
of Ground-Water Samples for Selected Unstable Constituents,
Techniques of Water-Resources Investigations of the United States
Geological Survey, Book 1, Chapter D2, Washington, 1976

SU KİMYASI VE KORZYON ETÜDÜ HARİTASI

Şekil 19



KARAAĞAÇLI KOOPERATİF SAHASI SU KALİTESİ HARİTASI

Şekil 20



İŞARETLER - Legend

Kısayı	Noktası
9570	Boru Zemin Pot. Drenaj Boru
350	Boru Zemin Pot. Drenaj Boru
6.750	Boru Zemin Pot. Drenaj Boru

750 EC

Cl

max / l

30 20 10 0 10 20 30

mass / l

Ca⁺⁺

Mg⁺⁺

Na + K

HCO₃⁻

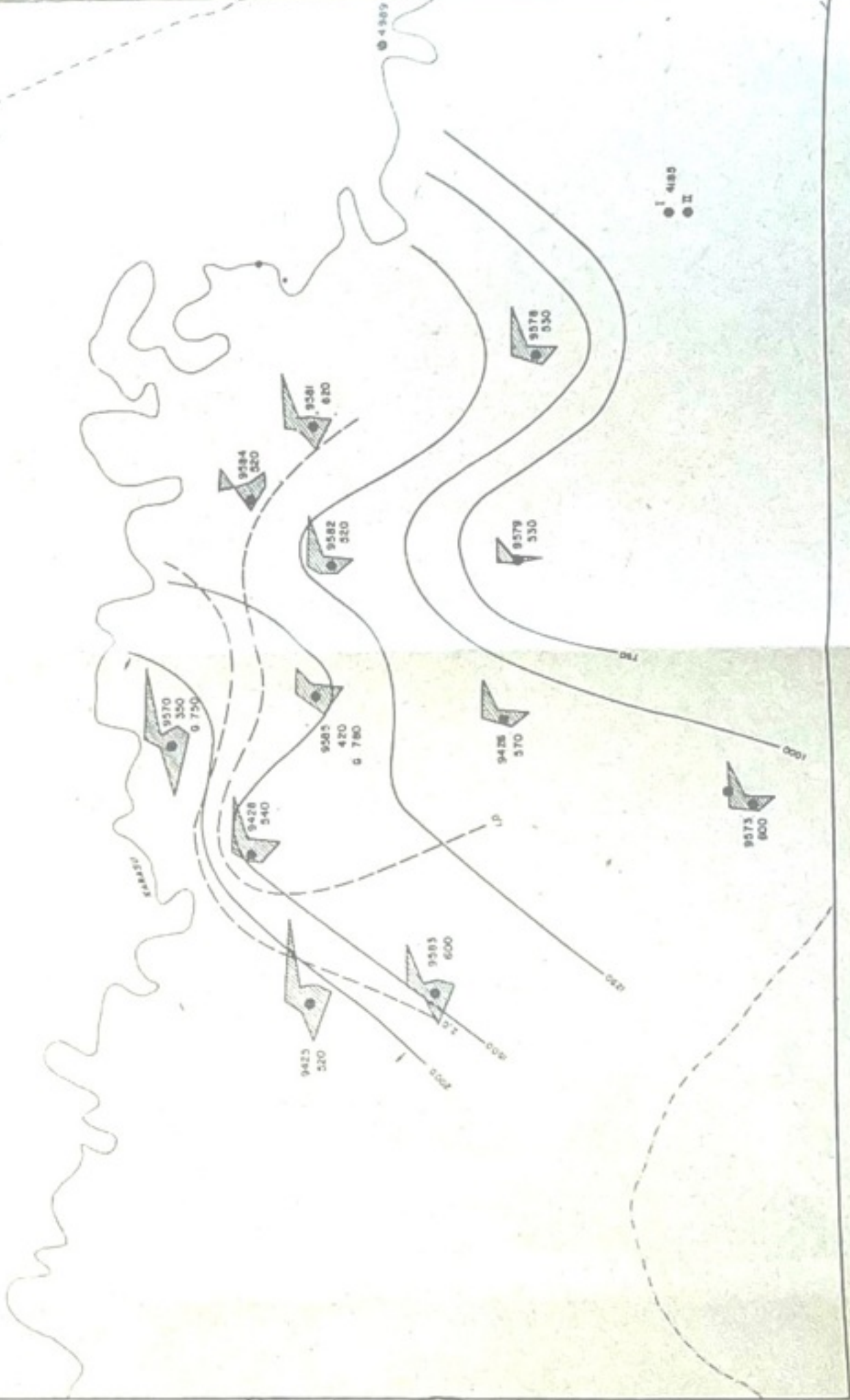
SO₄²⁻

Cl⁻

CO₃²⁻

ÖLÇEK - Scale

0 1 Km



KARAAĞAÇLI KOOPERATİF SAHASI KOROZYON ETÜDÜ HARİTASI

Şekil 21



İŞARETLER - Legend

- 50 --- Sodyum Yüzdesi
- 550 --- Boru / Zemin Potansiyeli
- 300++++ Redox Potansiyeli
- G Gaz Bulunan Kuyular

